

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOL

DIVISION DES SOLS

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE - MER

MISSION EN TUNISIE

**ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE L'EAU ET DES SELS
SUR UNE SEQUENCE DE SOL ARGILEUX
DE LA BASSE VALLEE DE LA MEDJERDA (SECTEUR D'EL HABIBIA)**

RAPPORT DE LA CAMPAGNE 1981 - 1982

Par : J. P. MONTOROI, Pédologue à l'O.R.S.T.O.M. (Juillet 1983)

E-S 207

ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE L'EAU ET DES SELS
SUR UNE SEQUENCE DE SOL ARGILEUX
DE LA BASSE VALLEE DE LA MEDJERDA (SECTEUR D'EL HABIBIA)
RAPPORT DE LA CAMPAGNE 1981-1982

J.P. MONTOROI
Pédologue à l'O.R.S.T.O.M.
Juillet 1983

SOMMAIRE

OBJET DE L'ETUDE	2
LE SITE D'EL HABIBIA	
1. Description morphologique de la parcelle	4
2. La pluviométrie 1982	4
3. Le sol de la parcelle	9
EQUIPEMENT DE LA PARCELLE	
1. Description des stations	15
2. Les paramètres à évaluer	17
RESULTATS DE LA CAMPAGNE 1982	
1. Le drain	21
2. La nappe phréatique	23
3. Le calcul de l'humidité du sol	26
CONCLUSION GENERALE	47
BIBLIOGRAPHIE	48
ANNEXES	50

OBJET DE L'ETUDE

En 1979-1980, à l'occasion d'une première étude utilisant les méthodes tensiométrique et neutronique en conditions naturelles, la parcelle d'EJ Habibia a été mise à contribution pour caractériser les transferts d'eau, au niveau d'un profil de sol argileux présentant une nappe salée en profondeur (M. MECHERGUI, 1980).

Les résultats obtenus tendent à montrer que la redistribution de l'eau au niveau de la parcelle n'est pas uniquement régie par des transferts verticaux : une composante latérale semble devoir être prise en compte, c'est ce que nous nous proposons de mettre en évidence par la présente étude.

Pour cela nous avons multiplié les points d'observation sur la parcelle en équipant 4 stations (ST0, ST1, ST2 et ST3) de "capteurs" d'humidité et de salure. Celles-ci sont disposées en séquence sur l'axe d'un drain en poterie, afin d'éviter les transferts liés à la présence de ce réseau de drainage. Celui-ci stabilise une nappe salée dont on suivra l'évolution au cours de l'année. Les caractéristiques hydrodynamiques sont abordées par les méthodes tensio-neutroniques, tandis que le suivi de la salure s'effectue à l'aide de "salinity-sensors" et de sondes quadripôles. Ces diverses mesures sont faites en conditions naturelles et sous irrigation au cours d'une année.

L'ensemble du dispositif expérimental a été complètement installé en juillet 1982 et les mesures ont pu commencer dès le mois d'août 1982. Cependant la campagne de mesures 1982 n'a pas été exécutée comme nous l'espérions, pour 2 raisons :

- l'irrigation estivale n'a pas pu être conduite normalement par suite de chaleurs exceptionnelles en juin-juillet. Les barrages, ne disposant plus de réserves suffisantes, n'ont pu assurer une irrigation correcte.

- la sonde à neutrons, mesurant l'humidité du sol, a cessé subitement de fonctionner fin août et n'a été à nouveau disponible qu'à

la fin janvier 1983. Par l'utilisation de sondes, aimablement prêtées par des organismes tunisiens, nous avons essayé de remédier à cet inconvénient, mais pas de façon entièrement satisfaisante, puisque le matériel n'était pas toujours à notre disposition.

Le présent rapport de campagne 1981-1982 consistera donc en

- . une présentation rapide du site d'El Habibia,
- . une description des moyens mis en oeuvre pour mener l'étude,
- . un exposé des premières observations faites en 1982 (le dépouillement plus élaboré des résultats sera inclus dans le rapport de campagne 1983). L'étalonnage de l'humidimètre neutronique fait l'objet d'un développement particulier.

LE SITE D'EL HABIBIA

La parcelle d'étude, située à 20 km à l'ouest de Tunis (Fig.1), sur la bordure sud de la route Tunis-Mateur (GP 7), s'insère dans le domaine des périmètres irrigués de la basse vallée de la Medjerda (secteur d'El Habibia). Elle appartient à la ferme de Mr Abdallah SAHLIA, qui nous la loue tout en continuant à l'exploiter.

1. Description morphologique de la parcelle

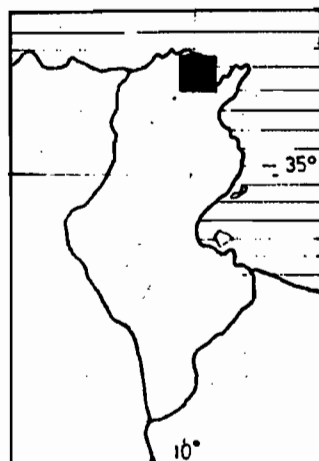
On a procédé au nivellement ("en étoile") de la parcelle avec la collaboration, pour les levés de terrain d'H. CAMUS et d'A. MONTIBERT, hydrologues ORSTOM (cf. plan topographique en annexe).

De forme polygonale, elle s'inclut dans un parcellaire en lanières, griffé par un réseau de fossés assurant l'évacuation des eaux. Le drainage s'effectue également à partir de drains en poterie qui débouchent dans le fossé nord. Du point de vue topographique, elle présente une partie haute constituant un petit replat, une partie intermédiaire de pente régulière (2%), et une partie basse légèrement en creux. Les courbes de niveaux, établies de 10 cm en 10 cm, n'ont pu être rattachées à aucun point coté. La cote zéro a été arbitrairement choisie au bas de la parcelle, au niveau du deuxième drain en partant du collecteur. A titre indicatif, la parcelle se situe entre les altitudes 20,5 m et 22 m.

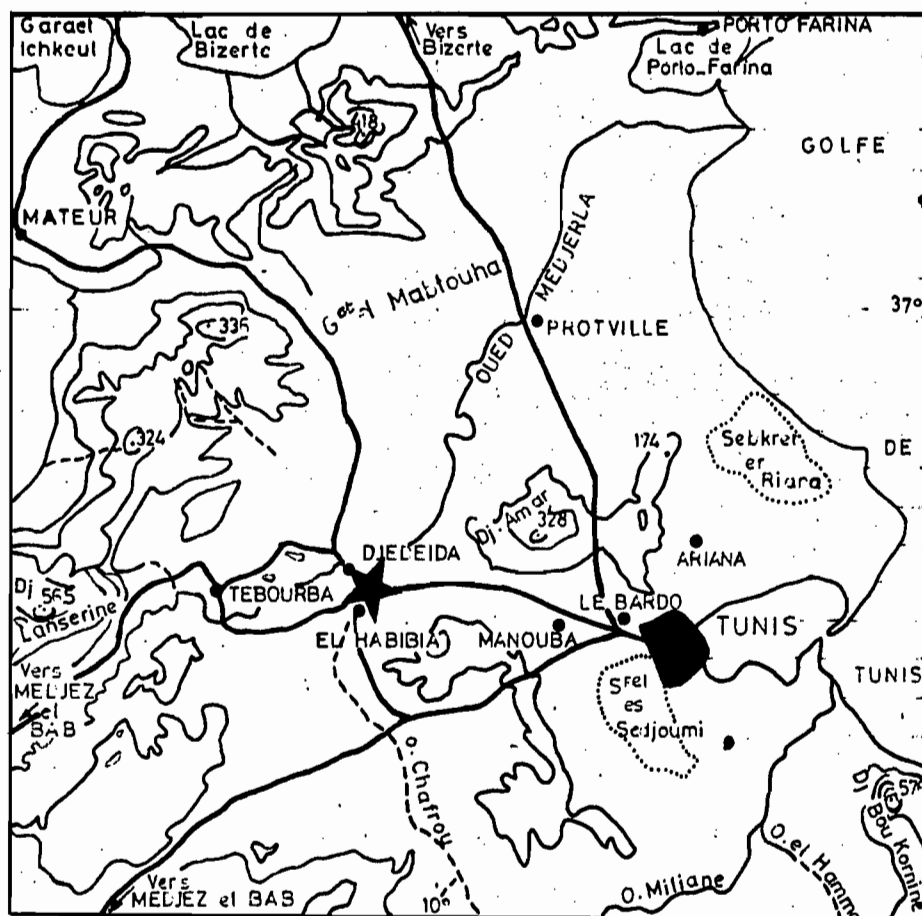
2. La pluviométrie 1982

Nous nous sommes attachés à bien relever ce paramètre afin d'évaluer les apports en eau sur la parcelle d'étude. Un pluviographe (type Précis-Mécanique) a été installé non pas sur la parcelle mais, par mesure de sécurité, près de la ferme du propriétaire à environ 500 m. Il a fonctionné normalement depuis la fin janvier à la mi-décembre, date à laquelle les hydrologues de la mission ORSTOM-Tunis, qui nous l'avait

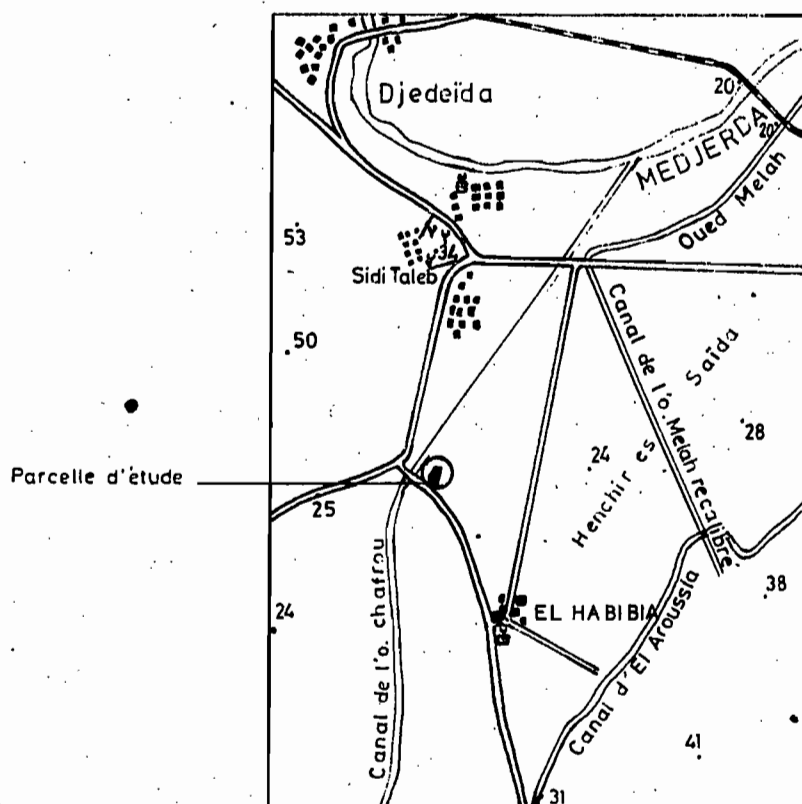
Fig.1 . SITUATION GEOGRAPHIQUE



Echelle 1/15.000.000



Echelle : 1/500.000



Echelle : 1/50.000

prêté, en ont eu besoin pour leurs travaux. Depuis nous utilisons un pluviomètre qui ne nous renseigne que sur les hauteurs des précipitations sans nous donner leurs intensités.

Nous avons regroupé dans un tableau (cf annexes) les données journalières recueillies à El Habibia.

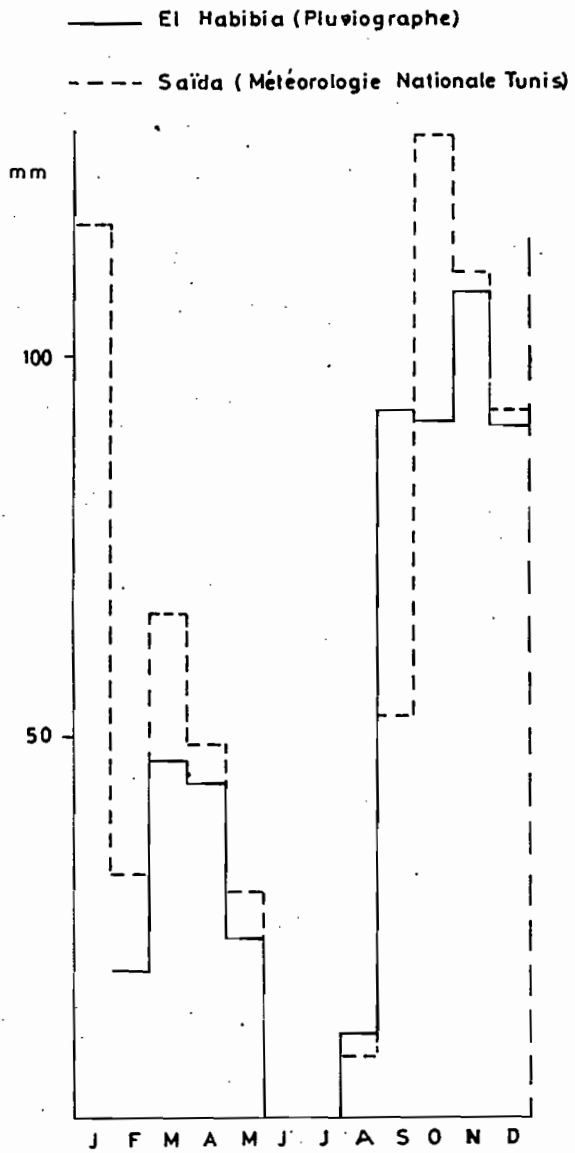
2.1. Variabilité spatiale

En comparant la pluviométrie d'El Habibia à celle enregistrée sur la station météorologique de Saïda, située à environ 3 km, en direction de Tunis (Fig. 2), on remarque que les hauteurs mensuelles sont inférieures à El Habibia, sauf en août et septembre.

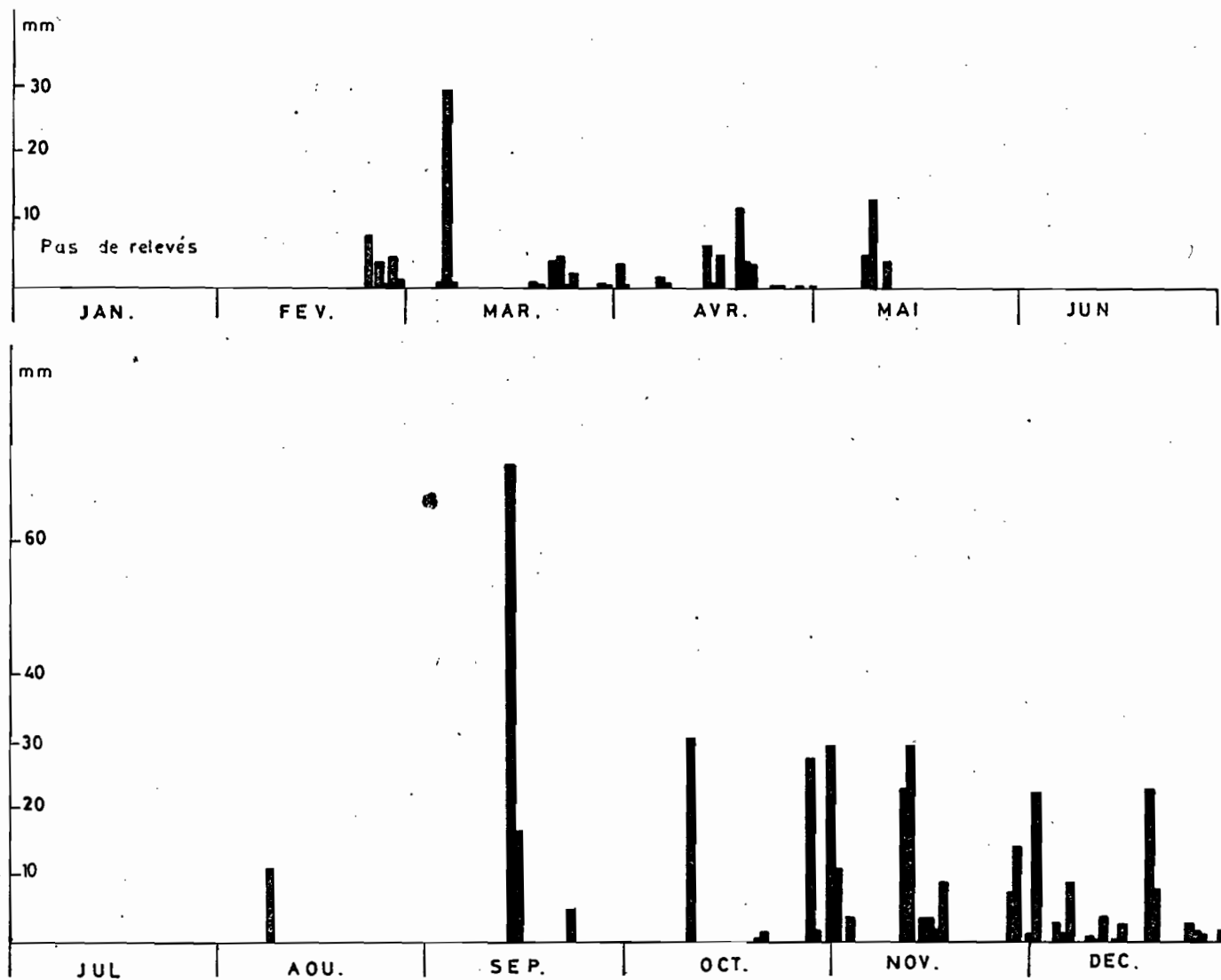
Les différences observées sont souvent liées à l'hétérogénéité des précipitations (notamment lors des orages d'automne) : le 13 septembre il est tombé 71,5 mm à El Habibia et 29 mm à Saïda alors que les 11 et 28 octobre, 53,5 mm et 50,5 mm ont été enregistrés à Saïda contre 30,5 et 27,5 mm à El Habibia. On note parfois une localisation spatiale assez nette : aucune pluie n'est relevée à El Habibia du 1er au 21 février alors qu'il a plu 4 fois à Saïda (8mm). Ces variations ont été perçues sur le terrain. Très souvent, nous avons noté que les pluies semblaient plus fréquentes et plus importantes en direction de Tunis.

Ces quelques considérations nous conduisent à penser qu'elles sont également valables, à un degré moindre, pour ce qui concerne les pluies réellement tombées sur la parcelle et celles relevées au niveau de la ferme du propriétaire. Il est cependant difficile d'apprécier les variations, si ce n'est en installant directement un pluviomètre sur la parcelle (le relevé systématique n'était guère envisageable sans permanent). Compte tenu du fait que l'écart entre les pluies journalières d'El Habibia et de Saïda est toujours assez faible (quelques mm en général), on peut admettre les relevés d'El Habibia comme acceptables pour notre étude.

Fig. 2 - Pluviométrie 1982 (EL HABIBIA)



Pluviométrie mensuelle



Pluviométrie journalière

2.2. Répartition

Le total des précipitations à El Habibia pour les 11 derniers mois de 1982 (il n'y a pas eu de relevés en janvier) s'élève à 528,5 mm. En considérant la hauteur du mois de janvier à Safda (117 mm) nous avons sur l'ensemble de l'année 645,5 mm ce qui est nettement supérieur à une année moyenne (450 mm environ).

La pluviométrie a été importante en début d'année, normale au printemps et en été, mais exceptionnelle de septembre à décembre. Pendant ces 4 derniers mois sont tombés 384 mm, à peu près autant qu'une année moyenne.

Les gros orages de septembre et octobre n'ont que très partiellement réhumecté le sol, alors qu'en novembre et décembre les pluies, pratiquement ininterrompues, ont laissé le sol à saturation pendant une longue période. Ces dernières précipitations se répartissent en 3 principaux épisodes, entre lesquels le sol n'a guère eu de temps pour ressuyer (Fig. 2) :

- . du 28/10 au 3/11 (73,5 mm en 5 j.).
- . du 11/11 au 17/11 (70,5 mm en 6 j.)
- . du 27/11 au 29/12 (108 mm en 34 j.)

Chaque épisode présente deux pluies de plus de 20 mm.

2.3. Intensité

Les intensités mesurées sont en général faibles (< 10 mm/h). On dénombre 15 pluies d'intensité supérieure à 10 mm/h mais de durée variable (5 mn à 1 h 35 mn). Leur fréquence s'établit comme suit : 1 en février ; 4 en septembre ; 5 en octobre ; 4 en novembre et 1 en décembre. La plus remarquable fut celle du 13/9 qui vit tomber 66 mm en 1 h 15 mn, dont 60 mm en 1 heure.

M. MECHERGUI (1980) avait indiqué que, pendant l'hiver 1979-1980, le ruissellement était inexistant. Cependant, pour les pluies o-

rageuses d'automne (notamment celle du 13/9), nous avons constaté qu'une grande quantité d'éléments fins a été entraînée le long des sillons de labour et s'est accumulée en bas de la parcelle. Les mottes de terre sèches et anguleuses se sont disloquées et émoussées sous l'impact des gouttes. Le sol sec et sans couvert végétal est donc particulièrement exposé à l'érosion hydrique, ce qui n'est plus le cas en saison hivernale.

CONCLUSION

L'année 1982 s'insère bien dans le climat général de la région tunisoise, où prédominent les pluies hivernales et automnales et où existe une période sèche bien nette. Les grosses chaleurs estivales et les pluies exceptionnelles rencontrées en fin d'année ne sont pas étonnantes eut égard à la grande variabilité annuelle du climat.

Parmi les caractéristiques climatiques, la pluviométrie est un élément important, mais les températures et surtout l'évapotranspiration potentielle sont également à prendre en compte, notamment pour l'établissement de bilans hydriques au niveau de la parcelle. Les valeurs de l'ETP mesurées ou calculées à Saida seront intéressantes en ce sens. Les données de 1982 seront rassemblées et exploitées avec celles de 1983.

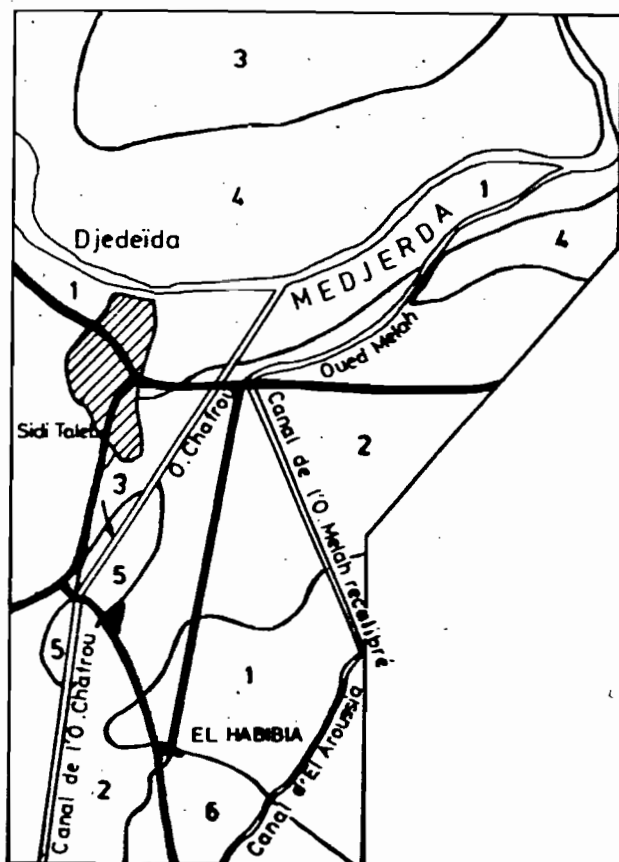
3. Le sol de la parcelle (Fig. 3)

Il s'inscrit dans le domaine des sols peu évolués, d'origine non climatique, d'apport alluvial, vertiques (JP MONTOROI, 1981). Pour préciser ses caractéristiques, nous avons étudié un profil classique, isolé, et avons cherché à connaître la représentativité de certaines d'entre elles à l'échelle de la séquence puis de la parcelle.

3.1. Le profil

Au niveau de la station ST0, le profil, décrit et analysé au laboratoire de la DRES* à l'Ariana-Tunis en février 1981 (cf. en annexe) présente :

* DRES : Direction des Ressources en Eau et en Sol



Echelle : 1/50.000

LEGENDE

Sol peu évolué, non climatique, d'apport alluvial

1 modal

2 vertique

3 hydromorphe

4 salé.

5 Sol sodique, à structure dégradée, à alcali non lessivé, très salé à alcali à hydromorphie de nappe.

6 Sol calcimagnésique, rendziniforme, rendzine à horizon, brun calcaire.

◀ Parcelle d'étude

Fig.3- CARTE PÉDOLOGIQUE DU SECTEUR D'EL HABIBIA

Complément aux études pédologiques de L. GUYOT, 1969

et A. GHARBI, 1975

- une texture argileuse avec des teneurs allant de 40% en surface à plus de 60% en profondeur (à partir de 140 cm),
- une structure en plaquettes obliques, bien nette entre 60 et 120 cm, manifestation d'un caractère vertical prononcé,
- une carbonatation généralisée.

Le profil, développé sur un matériau alluvionnaire, est peu différencié et on n'observe pas de gypse en profondeur. Des fentes de retrait apparaissent très rapidement en surface pendant les phases de dessiccation. Après une longue période sèche, les plus grosses peuvent atteindre 3 à 4 cm de large et s'enfoncer jusqu'à 1 m de profondeur.

3.2. La séquence

Pour chacune des stations, des prélèvements effectués à la tarière de 20 cm en 20 cm ont été analysés au laboratoire. Nous retrouvons les caractéristiques analytiques du profil précédent, et nous les comparons à celles relatives aux autres stations de la séquence (Fig. 4).

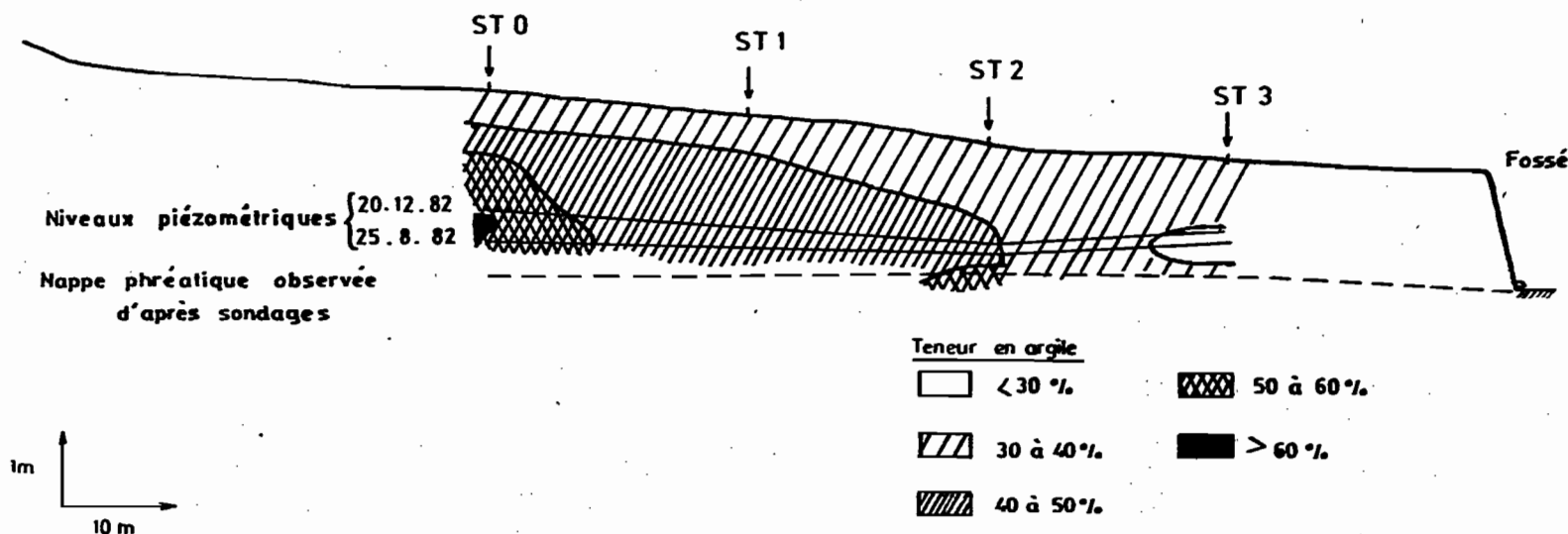
La teneur en argile reste élevée sur les 4 stations (entre 40 et 60%) mais va en décroissant de ST0 à ST3.

Le pH est en général voisin de 8,2 et peut atteindre 8,6 en profondeur sur ST0.

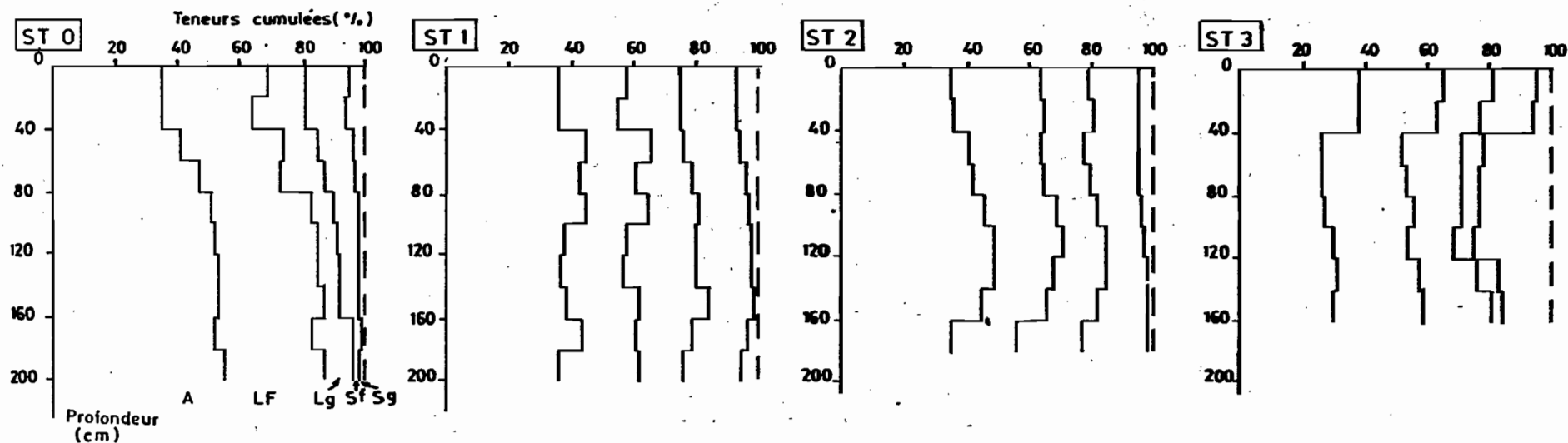
La capacité d'échange du complexe absorbant est plus élevée en ST0 (22-30 me/100g) qu'en ST2 et ST3 (15-20 me/100 g), la station ST1 étant dans une situation intermédiaire. Ces valeurs indiquent une certaine proportion d'argiles type montmorillonite, présentant des phases de gonflement et de retrait. Le complexe absorbant, surtout saturé par les cations Ca^{2+} , comporte 10 à 15% de cations Na^{+} , allant jusqu'à 20-25% en ST0 (à partir de 120 cm).

La conductivité de l'extrait saturé croît légèrement de ST0

Fig.4-a. Variation saisonnière de la nappe phréatique et teneur en argile au niveau de la séquence de la séquence



b. Granulométrie au niveau des stations



(3,5 mmhos/cm) à ST3 (entre 2 et 5 mmhos/cm). Elle est supérieure à 4 mmhos/cm en ST2 et ST3, respectivement à partir de 80 cm et 60 cm.

Les mesures de pF montrent que la station ST0 se démarque nettement des trois autres. Les pF 4,2 et 2,8 correspondent respectivement aux "fourchettes" 16-26% et 26-37% (d'humidité pondérale) pour ST0, alors que ces valeurs pour les autres stations sont respectivement 14-18% et 22-26%.

Lors des prélèvements, nous avons repéré la nappe phréatique en ST1, ST2 et ST3 respectivement à 2,10 m, 1,70 m et 1,50 m. Ces mesures sont sensiblement différentes de celles relevées dans les piézomètres. Elles sont environ 40 à 50 cm moins élevées. En ST0 la nappe se situe à une profondeur inférieure à 2,40 m, limite de notre sondage. Nous avons également observé que les taches d'oxydo-réduction présentes à partir de 150 m en ST0 et ST1 sont nettement moins abondantes sur les autres stations.

3.3. La parcelle

Le quadrillage de la parcelle (20 m x 20 m), comportant 17 sondages à la tarière, a été effectué en février 1981. L'établissement des courbes d'isogranulométrie (tous les 20cm jusqu'à une profondeur de 2 m) nous donne la répartition spatiale de chaque fraction granulométrique. Nous avons étudié celles relatives à l'argile, qui est la fraction dominante sur le site.

Les différences appréciables des teneurs en argile, entre et pour chaque tranche de 20 cm, indiquent, à l'échelle de la parcelle, une certaine hétérogénéité de la matière minérale. Ceci est lié au matériau originel, constitué de dépôts alluvionnaires.

L'augmentation de la fraction argileuse avec la profondeur se manifeste plus ou moins fortement. Des "lentilles", nettement plus argileuses, apparaissent dans certaines zones, notamment en amont de la parcelle. Sur la séquence qui nous intéresse, la décroissance des

teneurs en argile, d'amont en aval, est plus ou moins marquée pour chaque tranche de sol. A l'amont de la station ST1, se développe un niveau très argileux, qui affecte la station ST0. Les taux sont supérieurs à 50% à partir de 80-100 cm et dépassent 60% vers 2 m de profondeur. A l'emplacement de la station ST2 nous notons également une élévation de la teneur en argile (plus de 50% à partir de 140-160 cm), mais beaucoup moins prononcée qu'en ST0.

La nappe phréatique se manifeste à partir de 160-180 cm pour les sondages situés au bas de la parcelle, ce qui correspondrait aux observations faites précédemment sur la séquence.

Nous ajouterons que, durant le premier semestre de l'année 1982, la parcelle a été exploitée en bersim (sorte de luzerne), avec des coupes régulières à la faux. Puis, laissée en jachère pendant les mois de juillet et août, elle a été labourée en septembre et emblavée en orge début novembre.

CONCLUSION

Les caractéristiques pédologiques de la station ST0 varient sensiblement par rapport aux trois autres stations, notamment ST1 et ST3. L'hétérogénéité verticale et latérale, que l'on a pu remarquer, surtout au niveau de ST0, est un facteur dont il faudra tenir compte dans l'étude du comportement hydrique de la parcelle:

EQUIPEMENT DE LA PARCELLE

1. Description des stations

La situation des 4 stations (ST0, ST1, ST2 et ST3) au niveau de la parcelle est indiquée avec précision sur le plan topographique (voir annexes). La station ST0 se trouve légèrement décalée par rapport aux 3 autres, alignées sur l'axe du drain.

Nous avons remis en service la station ST0 installée par M. MECHERGUI et avons équipé les 3 autres stations avec le même type de matériel (Fig. 5), dont les principales caractéristiques (profondeur et date d'implantation, nature...) sont décrites dans le tableau suivant :

STATION MATERIEL	S T 0	ST1, ST2, ST3
Tube de sonde à neutrons	2,25 m - tube aluminium AG3, Ø 41 mm (fin 1979)	2,00 m - idem (Déc. 1981)
Piézomètre	2,50 m - tube OMVVM N° 29, Ø 68 mm	2,20 m - tube plastique PVC, Ø 40 mm (janv. 1982)
Tensiomètre	10 ; 25 ; 50 ; 80 ; 120 ; 160 cm (fin 1979)	15 ; 30 ; 45 ; 60 ; 90 ; 120 ; 150 ; 180 cm (Avril 1982)
"Salinity-Sensor"	10 ; 25 ; 50 ; 80 ; 120 ; 160 cm implantation horizontale (Mai 1980)	30 ; 60 ; 90 cm implantation verticale (Avril 1982)
Sonde quadripôle		15 ; 30 ; 45 ; 60 ; 120 ; 180 cm implantation oblique (Avril 1982)

OMVVM : Office de la Mise en Valeur de la Basse Vallée de la Medjerda

2. Les paramètres à évaluer

Les moyens d'investigation, répertoriés précédemment, vont nous renseigner sur certains paramètres liés à la salure, à la dynamique de l'eau et à l'évolution de la nappe phréatique.

Les capteurs électriques de salure (Fig. 6)

Ils sont de deux types : - le "salinity-sensor"

Il s'agit d'une petite cellule cylindrique en PVC à l'intérieur de laquelle se trouvent deux électrodes en platine, insérées dans une pastille poreuse en céramique (élément électrolytique), et une thermistance électrique. Cette cellule est reliée par un câble à une prise 4 broches (2 pour les électrodes, 2 pour la thermistance). Au travers de la surface de la pastille poreuse en contact intime avec le sol, s'établit un équilibre ionique entre la solution de l'élément électrolytique et celle du sol. Moyennant l'affichage de ses caractéristiques d'étalonnage, le branchement de cette cellule sur un conductivimètre ("Salinity-Bridge") nous donne la conductivité à 25° C de la solution du sol.

La résistance de la thermistance mesurée est rapportée à celle à 25°C et au moyen d'une abaque, on en déduit la température du sol au moment de la mesure.

- la sonde quadripôle

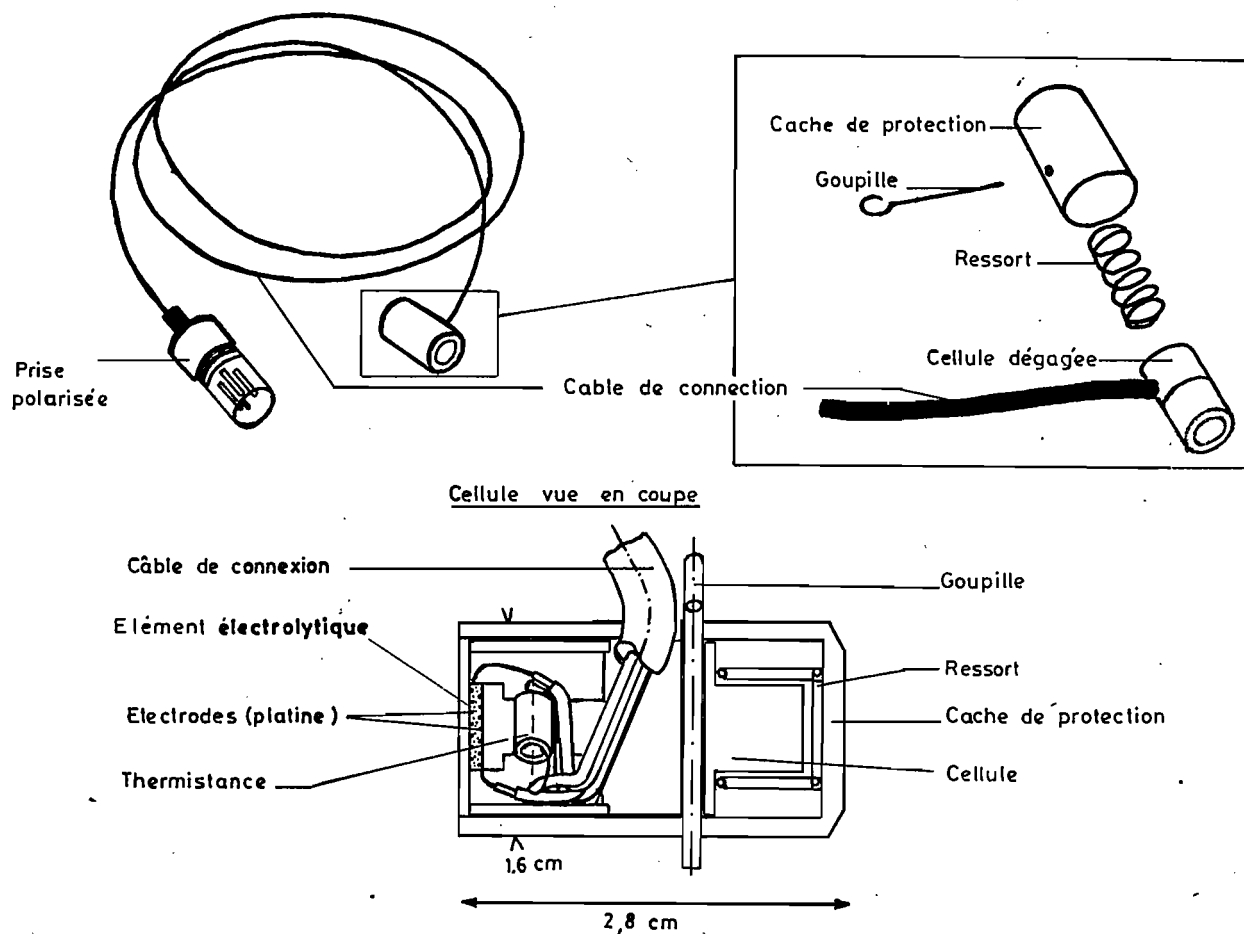
Fabriquée au laboratoire de la DRES (Tunis-Ariana), elle sert à mesurer la conductivité globale ou apparente (CE_{gl}) du sol, qui dépend de son humidité pondérale (θ_p) et de la conductivité de sa solution (CE_{ss}). La conductivité (CE_s), liée au matériau lui-même, c'est-à-dire à son complexe absorbant, intervient également : $CE_{gl} = f(CE_{ss} \times \theta_p) + CE_s$ (J. VIEILLEFON, P. ZANTE, 1981).

De forme profilée, pour mieux l'implanter dans le sol, la sonde porte 4 fils annelés en nickel qui, par l'intermédiaire d'un câble 4 brins, sont reliés à 4 prises électriques (femelles). Le branchement se fait sur un résistivimètre (type MEGGER ET5). Lors de la mesure, un courant continu est envoyé dans les 2 électrodes externes et, du champ électrique ainsi créé au voisinage de la sonde, les 2 électrodes internes détectent une différence de potentiel, proportionnelle à la résistivité du matériau (loi d'Ohm). Cette résistance est directement lue sur l'appareil.

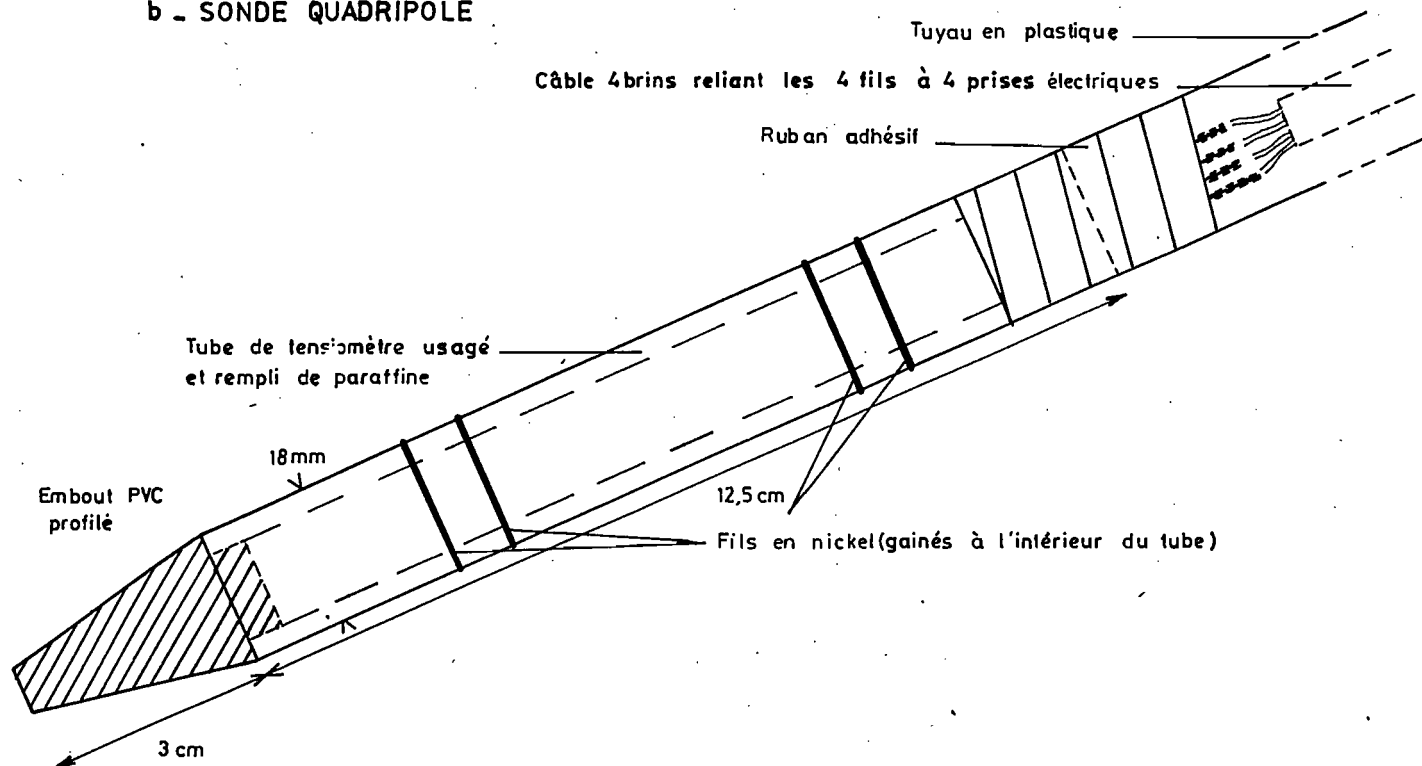
Préalablement à la mise en place sur le terrain, nous déterminons au

Fig.6 - Capteurs électriques de salure

a - SALINITY SENSOR (Type 5000 A de Soil Moisture Equip. Corp.,
extrait de la notice d'utilisation)



b - SONDE QUADRIPOLE



laboratoire le coefficient K de la sonde en mesurant la résistance R dans plusieurs solutions de conductivité CE connue. On obtient $K = CExR$, où K est une constante caractéristique de la sonde.

Tableau 1

S T O°		Profondeur (cm)	K		
Profondeur (cm)	K		ST1	ST2	ST3
10	137,2	15	129,9	127,2	132,5
25	131,6	30	132,0	132,7	135,1
50	134	45	126,7	136,9	131,2
80	142,7	60	137,0	141,6	136,9
120	128,9	120	133,9	140,3	134,2
160	130,3	180	137,6	127,6	130,3

*Valeurs mesurées par M. MECHERGUI, 1980

Connaissant cette constante K , la mesure de la résistance R dans le sol à la température $t^{\circ}C$ nous donne la conductivité globale : $CE_{gl}(t) = K/R(t)$. Pour comparer les valeurs de celle-ci entre elles, nous les ramenons à $25^{\circ}C$. Il importe donc de connaître la température $t^{\circ}C$, qui définit un facteur correctif $f(t)$ lu dans une table. On a alors : $R_{(25^{\circ}C)} = R(t)/f(t)$ et $CE_{gl}(25^{\circ}C) = K \times f(t)/R(t)$

Mesure de la charge hydraulique

Les tensiomètres, reliés à un manomètre à mercure nous renseignent directement sur la charge hydraulique H (exprimée négativement en cm d'eau), qui se définit de la manière suivante :

$$H = h - z (+ Posm) \quad \left(\begin{array}{l} h \text{ potentiel capillaire ou succion (cm d'eau)} \\ z \text{ profondeur d'implantation du tensiomètre} \\ Posm \text{ potentiel osmotique qu'on néglige dans} \\ \text{certains cas} \end{array} \right)$$

Nous avons constaté sur le terrain qu'avec de fortes suctions dans les tubes capillaires, le niveau de mesure dans le réservoir descendait de plus d'1 cm. Cette variation entraîne une sous-estimation des valeurs de H d'environ 10 à 15 cm d'eau. Afin de maintenir ce niveau à peu près constant, une cuve cylindrique, montée sur un support et ayant deux fois le diamètre du réservoir, est reliée à celui-ci par la base.

- Mesure des humidités

Les relevés se font grâce à un humidimètre neutronique empruntant les tubes d'accès. Le calcul proprement dit est développé plus loin.

- Mesure de la profondeur de la nappe

Les piézomètres sont les indicateurs des variations du niveau de la nappe. La composition chimique de celle-ci est également analysée.

RESULTATS DE LA CAMPAGNE 1982

Seules deux périodes sans pluies (du 4/11 au 10/11 et du 18/11 au 26/11) ont pu être observées au cours des derniers mois de l'année 1982. Leur courte durée (respectivement 7 et 9 jours) n'a pas permis de suivre une redistribution complète de l'eau. Les relevés effectués seront dépouillés et comparés avec ceux de l'année 1983.

Pour 1982 nous nous bornerons à analyser les mesures concernant la nappe et le drain et à aborder le problème du calcul de l'humidité du sol sur la parcelle.

1. Le drain

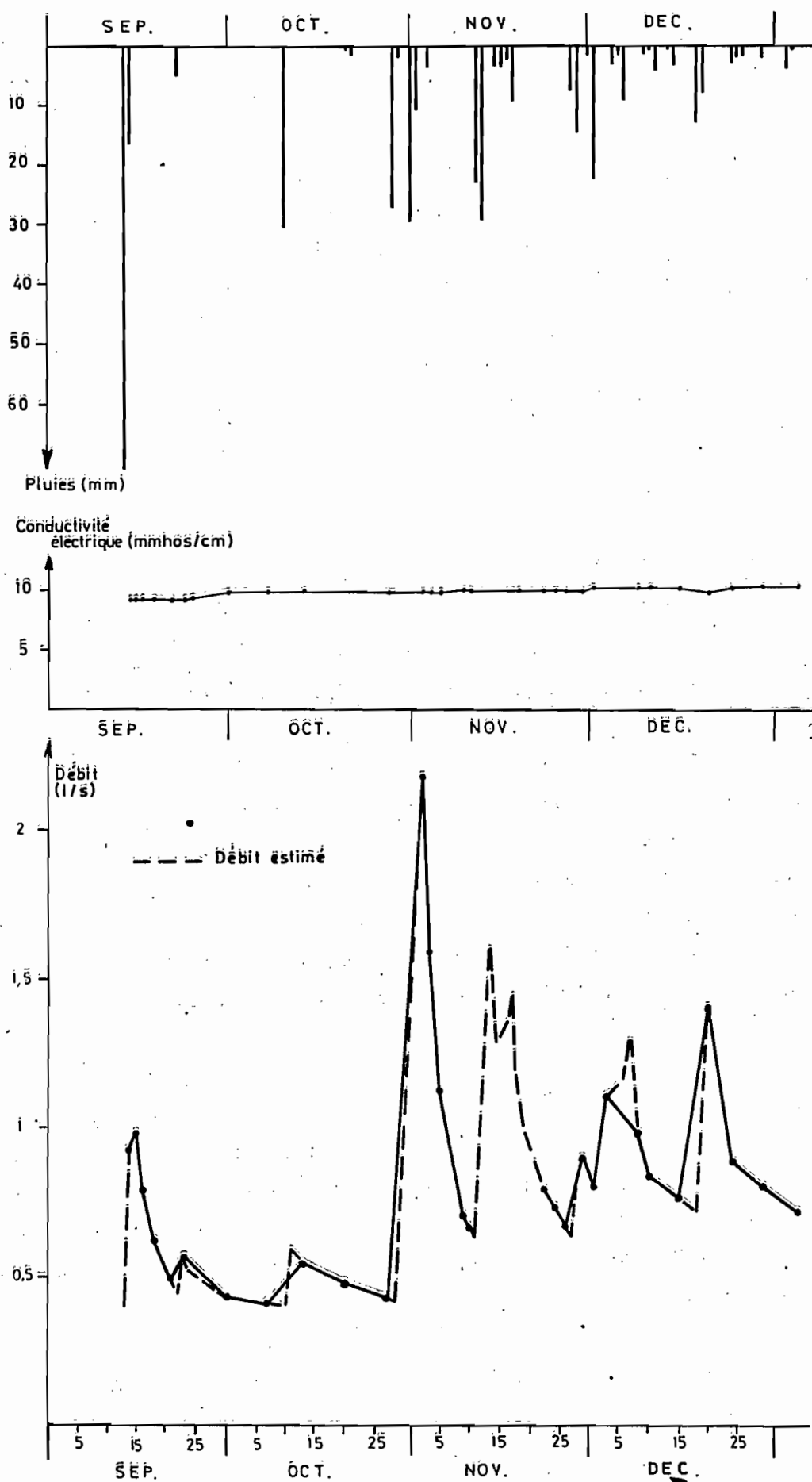
Celui-ci fonctionne tout au long de l'année, mais le débit des eaux, s'écoulant dans le fossé, est variable. La mesure de celui-ci est faite à l'aide d'un seau et d'une éprouvette graduée.

Toutes les pluies enregistrées en 1982 ont systématiquement élevé ce débit (Fig. 7). Un pic de variation très net caractérise les pluies supérieures à 20 mm. Après une augmentation brutale du débit on observe une diminution tout d'abord rapide puis progressive. Le retour au débit initial se fait en une quinzaine de jours s'il n'y a pas de nouvelles pluies. Il est d'environ 0,40 l/s mais peut descendre entre 0,30 l/s et 0,35 l/s après une longue période sèche.

Les mesures de débit n'ayant pas pu toujours être effectuées régulièrement, la variation entre deux résultats n'est pas exactement le reflet de la réalité. Cependant, le suivi précis pour plusieurs pluies nous permet de faire une estimation des variations de débit concernant celles moins bien observées.

Un prélèvement des eaux de drainage est pratiqué simultanément

Fig.7 - Variation du débit et de la conductivité électrique des eaux de drainage en fonction des précipitations journalières



à la mesure de débit et est analysé au laboratoire de la DRES. La qualité des eaux a très peu varié. La conductivité électrique voisine autour de 9 mmhos/cm. Les sels de chlorure de sodium dominant (65 à 75 me/l) avec également un peu de sulfate de magnésium (15 à 20 me/l).

2. La nappe phréatique

Les variations du niveau piézométrique de celle-ci, au cours du temps, sont regroupées sur la figure 8 pour chacune des stations. Il est à noter une correspondance entre la montée de ce niveau et l'abondance des pluies. La variation est d'autant plus faible que la nappe est plus proche de la surface. Le piézomètre de la station ST2 semble avoir un comportement particulier : sa réponse, lors d'une pluie, est toujours plus tardive et moins marquée que pour les autres stations. En été son niveau n'a cessé de baisser, alors qu'il est resté stationnaire pour ces dernières. Il est difficile de savoir s'il s'agit d'une anomalie liée au piézomètre ou bien si cela correspond à un phénomène particulier (nappe perchée...). Les observations ultérieures doivent nous permettre de trancher.

La nappe phréatique a atteint son niveau le plus bas et le plus élevé, respectivement le 25/8 et le 20/12. L'amplitude maximale est ainsi de 40 cm (200-160 cm) en ST0, de 30 cm (180-150 cm) en ST1 de 15 cm (140-125 cm) en ST2 et de 15 cm (100-85 cm) en ST3 (Fig.4).

L'O.M.V.V.M. fait mensuellement au niveau du piézomètre 29 de la station ST0 une mesure de la profondeur de la nappe et un prélèvement d'eau pour déterminer sa conductivité électrique. La figure 9 rassemble les résultats pour l'année 1982. Nous avons indiqué, à titre comparatif, nos relevés, plus fréquents, de la profondeur. Un relevé mensuel ne suffit pas pour enregistrer les variations réelles du niveau piézométrique. Il donne seulement une tendance au cours de l'année et permet de contrôler l'évolution saisonnière de la nappe. La conductivité électrique varie sensiblement suivant les périodes de l'année, la circulation des sels dans le sol étant influencée par les apports d'eau (pluies, irrigations) et par la présence d'une nappe phréatique peu profonde (H. BEN HASSINE et al, 1980). Les pluies hivernales entraînent les sels,

Fig.8 - Variation des niveaux piezométriques en fonction des précipitations journalières

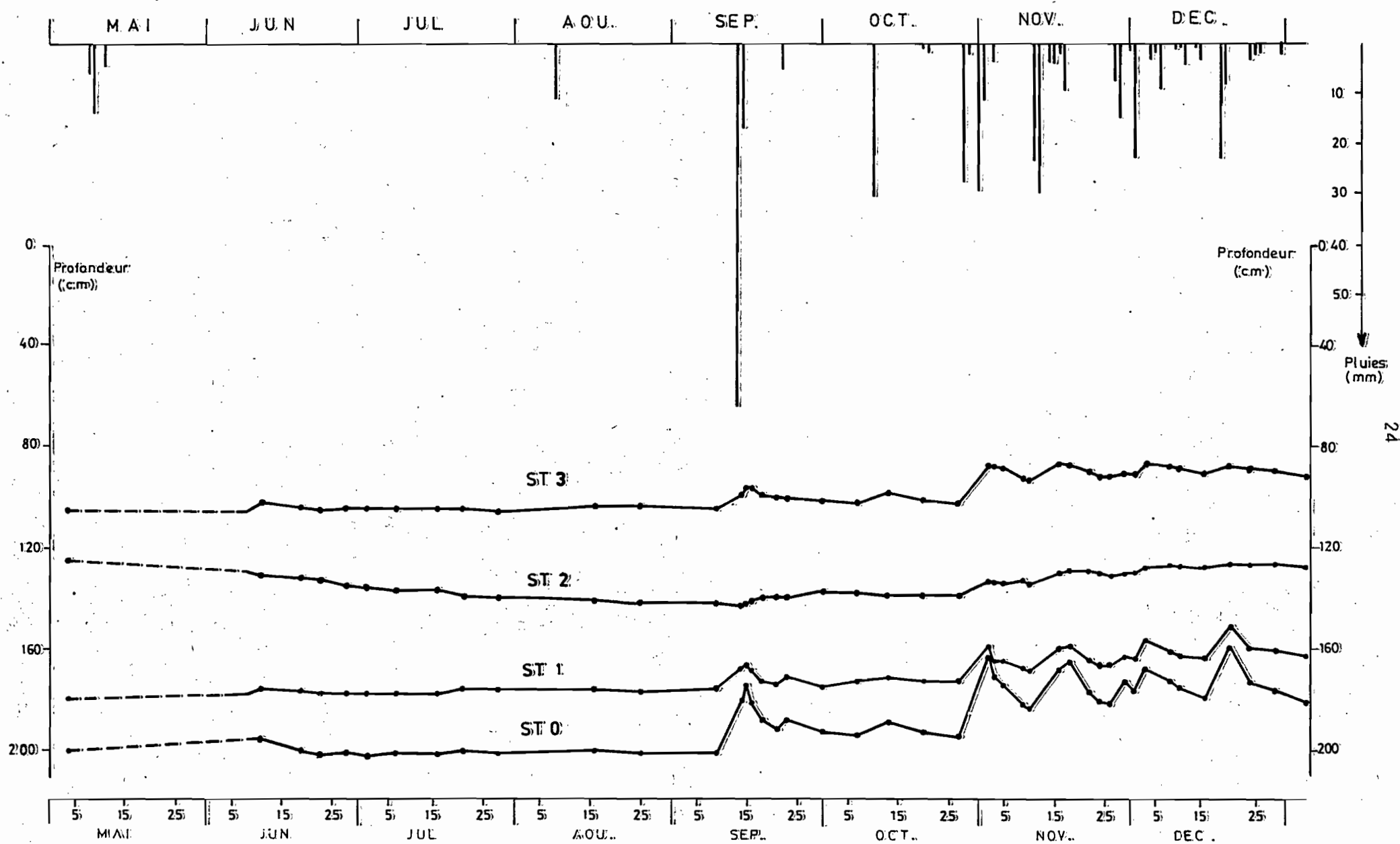
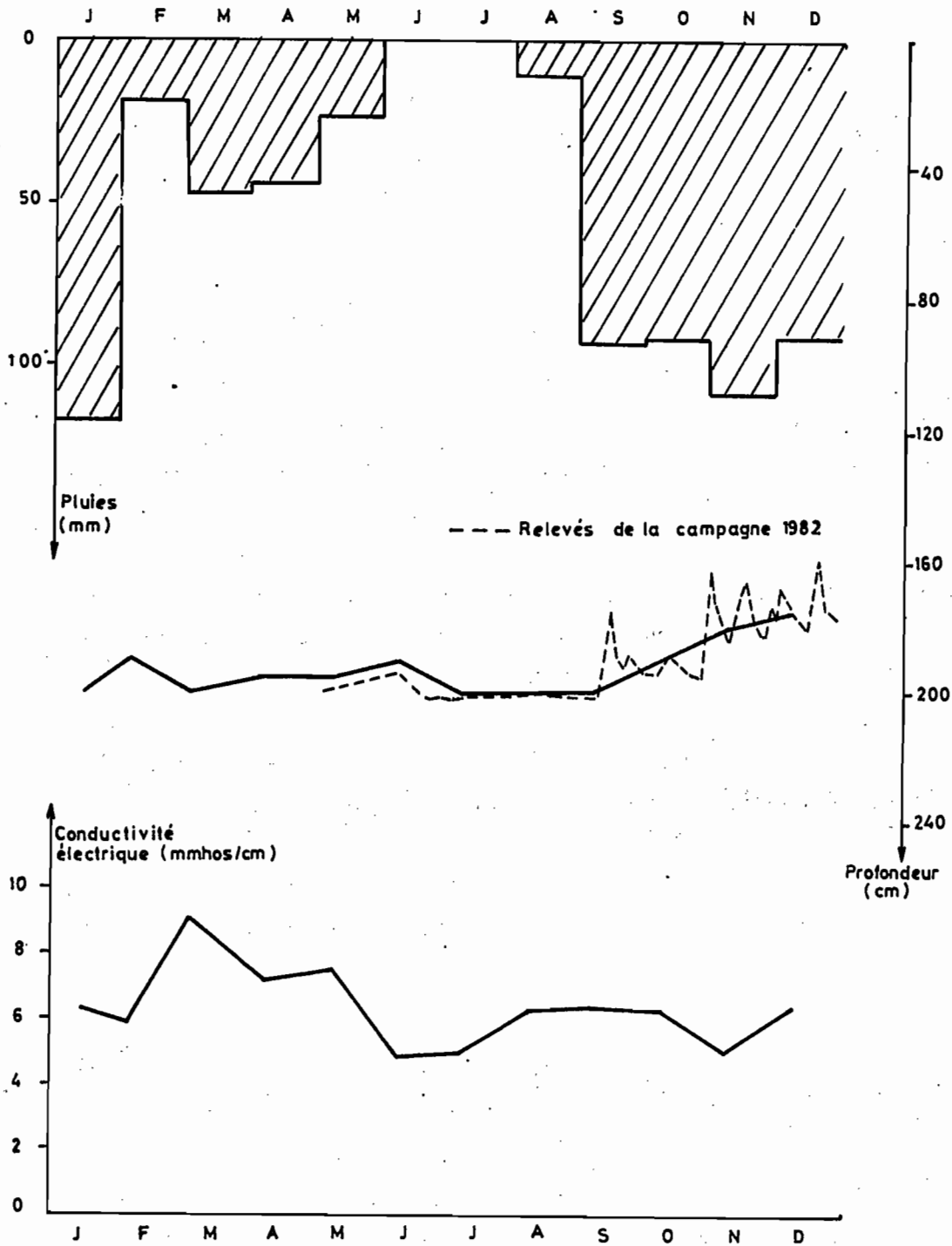


Fig.9 - Variation mensuelle du niveau piézométrique et de la conductivité électrique de la nappe (relevés de l'O.M.V.V.M.) en fonction des précipitations 1982



qui se sont déposés pendant l'été, et chargent progressivement la nappe (9 mmhos/cm début mars). A la fin du printemps, la conductivité de celle-ci baisse jusqu'à 5 mmhos/cm, les pluies ayant plutôt tendance à diluer les eaux de la nappe. Au cours de l'été 1982, il n'y a pas eu d'irrigation sur la parcelle : on note une petite augmentation de la salinité (6 mmhos/cm), qui se stabilise pendant 3 mois. La forte évapotranspiration crée un abaissement du niveau de la nappe, qui se concentre légèrement en sels. Des irrigations répétées produisent un effet inverse sur la conductivité (H. BEN HASSINE et al, 1980).

3. Le calcul de l'humidité du sol

Les mesures de la teneur en eau sont faites le même jour sur les 4 stations, grâce à un humidimètre neutronique type SOLO. Dans un premier temps nous avons utilisé une sonde SOLO 10 (source de radioactivité 10 mCi) qui est tombée en panne d'imprimante à la fin du mois d'août. Nous avons ensuite fait appel à une sonde SOLO 20 (10 mCi) prêtée par A. M'HIRI, professeur à l'INA* Tunis. Celle-ci nous a permis de relever quelques profils hydriques durant le 4ème trimestre 1982, mais nous n'avons pas pu en disposer aussi souvent que nous l'aurions souhaité.

Fin Janvier 1983 la SOLO 10 nous est revenue du C.E.N. Cadarache après réparation et nous avons poursuivi les mesures avec.

Avant de procéder à l'étalonnage de cette sonde, il nous incombait de connaître les densités apparentes au niveau de chacune des stations.

3.1. Mesure de la densité apparente

Les stations une fois mises en place, il nous était difficile d'employer pour la mesure de la densité apparente les méthodes classiques (cylindre ou densitomètre à membrane), qui ont l'inconvénient majeur de perturber le sol autour des stations.

* INAT : Institut National Agronomique de Tunis

Il nous est apparu plus intéressant d'utiliser une méthode non destructive telle que la sonde gamma-neutronique de profondeur. Si les mesures sur le terrain se sont avérées aisées à effectuer moyennant certaines précautions, leur dépouillement nous a posé quelques soucis pour des raisons que nous détaillerons plus loin.

3.1.1. Description de l'appareil (Fig. 10)

Le CRGR, par l'intermédiaire de Z. CHAABOUNI, nous a prêté pour nos besoins une sonde gamma-neutronique CPN (Campbell Pacific Nuclear) type 501 B.

Cet appareil mesure à la fois l'humidité volumique et la densité apparente "humide", pour une même profondeur, lorsqu'on descend une sonde dans un tube préalablement implanté dans le sol.

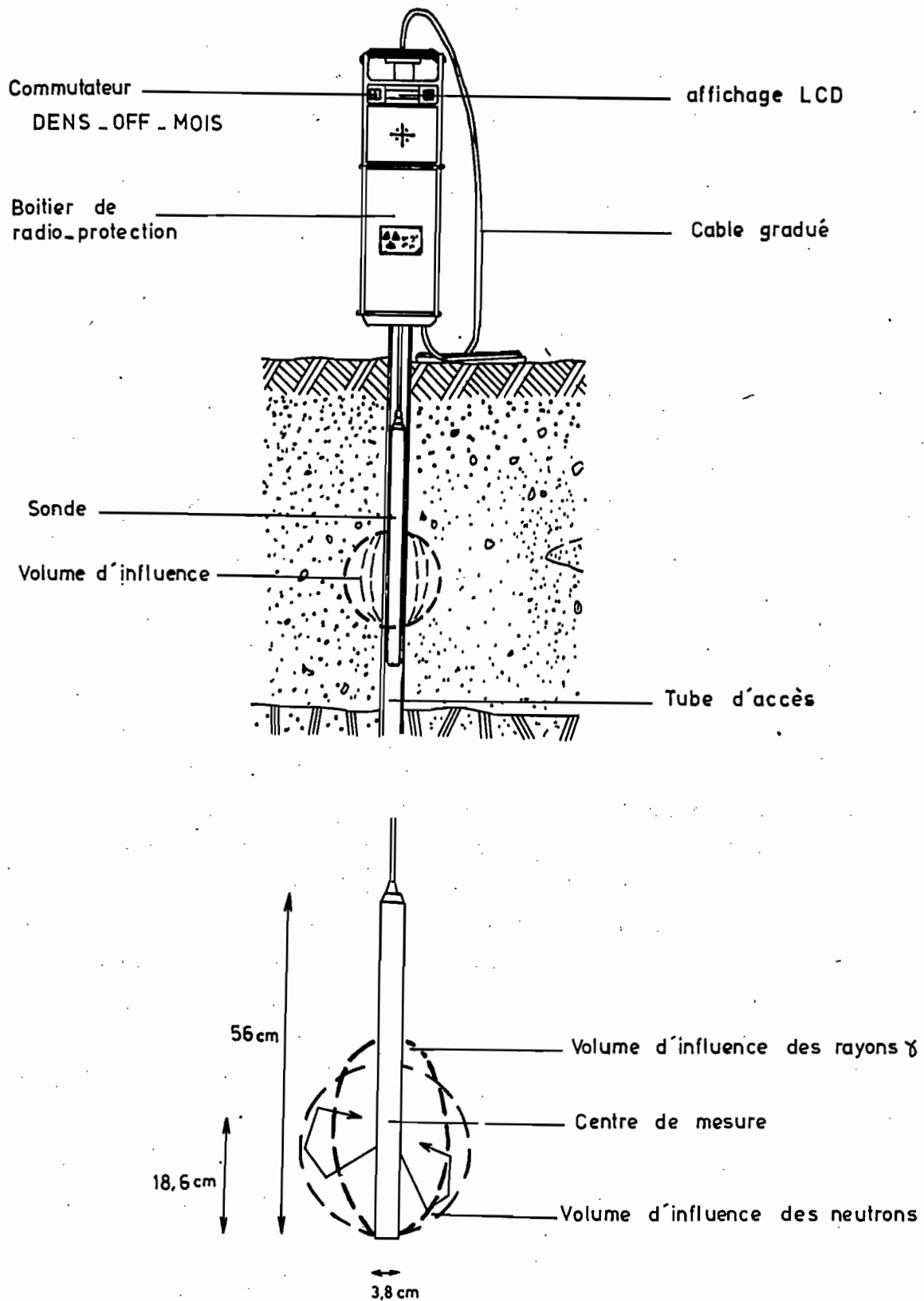
Cette sonde comporte 2 sources radioactives :

- . une source de neutrons rapides (Américium 241/Béryllium) d'activité 50 mCi associée à un détecteur à Hélium 3
- . une source de rayons γ (Césium 137) d'activité 10 mCi associée à un détecteur GM.

Une électronique complémentaire se loge dans un boîtier assurant la protection contre les rayonnements.

Un commutateur densité-arrêt-humidité permet de choisir le mode de sonde que l'on veut faire fonctionner. Le temps de comptage est fixé à 1 minute pour les 2 modes (on peut sélectionner ce temps sur 3 autres positions : 15, 30 et 120 secondes). Les comptages sont inscrits (affichage LCD) en nombre d'impulsions durant le temps de comptage choisi. La sonde proprement dite dont les dimensions sont 56 cm (longueur) et 3,8 cm (diamètre) emprunte les tubes d'accès déjà installés sur la parcelle pour la sonde SOLO.

Fig.10 - SONDE GAMMA-NEUTRONIQUE DE PROFONDEUR CPN 501B
(d'après notice d'emploi)



3.1.2. Principe

Nous donnons succinctement le principe d'action, sur le milieu externe, du rayonnement émis par chaque source radioactive.

- les rayons γ sont d'autant plus absorbés que le matériau traversé est dense. Les radiations non absorbées sont rétrodiffusées et comptabilisées au niveau du détecteur à scintillations (le comptage est d'autant plus faible que le milieu est dense) : 99% de ces radiations proviennent d'un volume moyen de forme oblongue enveloppant le tube sur une épaisseur d'environ 12 cm (notice d'emploi).

- les neutrons rapides (énergie > 1 MeV) perdent une grande partie de leur énergie à la suite de collisions avec les atomes d'hydrogène, contenus principalement dans les molécules d'eau, et sont ainsi ralentis. Le détecteur à He^3 prend alors en compte les radiations rétrodiffusées correspondant aux neutrons dits thermiques (ayant une énergie d'environ $1/40\text{eV}$). Le comptage est donc d'autant plus élevé que la teneur en eau du sol est forte : 90% de la réponse du détecteur est donnée par un volume moyen grossièrement sphérique d'environ 15 cm de rayon. Plus l'humidité du sol est importante, plus ce volume d'influence diminue : dans l'eau pure le rayon de la sphère d'influence est de 7,5 cm (notice d'emploi).

Avec la sonde CPN 501B, il y a superposition des deux volumes d'influence assurant ainsi la mesure des deux paramètres densité - humidité au même niveau. Sur le terrain, l'utilisation de cette sonde est similaire à celle d'un humidimètre neutronique classique. La collaboration de deux agents du CRGR (MANAI et KHIARI) nous en a facilité son maniement.

3.1.3. Détermination de la densité apparente humide ρ_w

Nous avons fait une mesure tous les 10 cm depuis la surface jusqu'à 2,10 m pour ST0 et jusqu'à 1,70 m pour ST1, ST2 et ST3.

- comptage standard : nous avons relevé 2 séries de 5 mesures

successives avant et après les mesures in situ (sonde située dans son étui). La sonde ne nécessite pas de préchauffage avant emploi, ce que nous avons constaté par la stabilité quasi immédiate des comptages. C'est pourquoi nous avons préféré faire deux courtes séries avant et après plutôt qu'une longue avant. Nous avons observé que la moyenne des comptages de ces deux séries (respectivement 3.684,6 et 3.650,3) ne varie pratiquement pas. La moyenne des 10 mesures nous donne le comptage standard en mode densité.

- comptages in situ : chaque mesure in situ est ramenée à ce comptage standard en établissant le rapport $R = \frac{\text{comptage in situ}}{\text{comptage standard}}$

Une table d'étalonnage fournie par le constructeur nous indique, pour chaque valeur du rapport R, une valeur de la densité apparente humide ρ_w correspondante, qui s'obtient, en fait, en appliquant l'équation suivante :

$$\rho_w = - \ln ((R + 3,3574) / 11,77) / 0,3257 \text{ (Tableau 2)}$$

Z. CHAABOUNI (communication orale) a montré en collaboration avec G. VACHAUD que cette courbe constructeur était tout à fait satisfaisante.

3.1.4. Détermination de la densité apparente sèche ρ_s

Pour évaluer ce paramètre nous avons voulu utiliser dans un premier temps les données obtenues à la CPN en mode neutronique, c'est-à-dire les valeurs de l'humidité volumique θ .

Les mesures ont été effectuées aux mêmes profondeurs que précédemment à raison de 2 répétitions chaque fois.

Le comptage standard a consisté en une série de 10 mesures avant et une série de 5 après les mesures in situ (comptage également pratiqué dans l'étui). Les moyennes des deux séries restent voisines (5.799,2 et 5.729).

Tableau 2 : Calcul de la densité apparente sèche (Station S10)

Z (cm)	ρ_w	$\theta=f(N)$	N (i/s pour 1000 dans l'eau)	θ (%)	ρ_s	ρ_s Méchergui
10	1,79	I	511	44,7	1,34	1,28
20	1,80	I	512	41,6	1,38	1,24
30	1,92	II	522	39,2	1,53	1,53
40	1,99		531	40,0	1,59	1,54
50	1,97		526	39,6	1,57	1,56
60	1,98		518	38,9	1,59	1,52
70	1,94	II	517	41,3	1,53	1,54
80	1,96	III	520	44,0	1,52	1,53
90	1,98		519	43,9	1,54	1,49
100	1,97		516	43,6	1,53	1,49
110	1,95	III	512	45,1	1,50	1,49
120	1,94	IV	516	47,3	1,47	1,36
130	1,96		511	46,8	1,49	1,36
140	1,94		516	47,3	1,47	1,51
150	1,97		526	48,4	1,49	1,51
160	1,99		542	50,0	1,49	1,41
170	1,95		541	49,9	1,45	1,41
180	1,94		549	50,7	1,43	1,32
190	1,96		535	49,3	1,47	1,32
200	1,96	IV	545	50,3	1,46	1,32

Comme pour la densité apparente humide, on aurait pu établir le rapport R et utiliser l'équation $\theta = f(R)$, fournie par le constructeur ($\theta = 0,295 R - 0,0026$). Nous avons constaté que cette relation fournissait des humidités notablement différentes de celles obtenues à partir d'échantillons soumis à l'étuvage. Il y a donc lieu d'être prudent dans l'emploi de ces courbes caractérisant un sol type. Pour un sol quelconque, l'étalonnage doit être modifié (M. NORMAND, 1974).

N'ayant pu réaliser l'étalonnage proprement dit de la sonde neutronique de la CPN, nous avons pris en compte les observations suivantes :

- les mesures à la CPN ont été faites le 8/12/82 alors que le sol était à la saturation depuis de nombreuses semaines par suite de fortes précipitations qui ont eu lieu tout au long des mois de novembre et décembre.

- cinq jours auparavant, des mesures à la sonde SOLO 10 ont été pratiquées sur les 4 stations dans les mêmes conditions d'humidité pour le sol.

Il nous est donc paru plus opportun de substituer ces dernières mesures à celles obtenues avec la sonde CPN (en mode neutronique).

3.1.4.1. Calcul de ρ_s sur la station STO

A partir des mesures de ρ_s au densitomètre à membrane, faites à la même époque de l'année (c'est-à-dire dans des conditions d'humidité à peu près équivalentes), M. MECHERGUI (1980) a déjà établi sur cette station les équations résultant de l'étalonnage au bloc graphite (voir paragraphe 3.2). Celles-ci nous donnent, pour 4 tranches de sol homogènes, une relation de la forme $\theta = a.N + b$.

(θ humidité volumique (en %))
) N comptage
) a, b coefficients d'étalonnage
) nage

Tableau 3

Couche (cm)	ρ_s	Equations d'étalonnage $\theta = f(N)$
0 - 20	1,26	$\theta = 0,095.N - 3,8$ I
20 - 70	1,54	$\theta = 0,088.N - 6,7$ II
70 - 110	1,48	$\theta = 0,096.N - 5,9$ III
110 - 200	1,42	$\theta = 0,102.N - 5,3$ IV

Des données de θ ainsi obtenues et des valeurs de ρ_w , calculées précédemment, nous déduisons, à chaque profondeur, la valeur de la densité apparente sèche ρ_s à l'aide de la relation : $\rho_s = \rho_w - \theta$ (Tableau 2). Ces résultats, en accord avec ceux produits par M. MECHERGUI (Fig.11), seront retenus dans les calculs ultérieurs.

3.1.4.2. Calcul de ρ_s sur les stations ST1, ST2 et ST3

Ces stations, étant d'implantation plus récente, ne disposent pas de courbes d'étalonnage comme ST0. Les humidités volumiques, calculées en 3.1.4.1. , sont voisines de 45%, valeur que nous pouvons considérer comme étant celle de l'humidité à la saturation pour la station ST0. Cette approximation correspond à une erreur absolue maximale de $\pm 0,06$ sur la densité apparente, principalement pour les couches superficielles et profondes. En étendant cette constatation aux autres stations, nous calculons alors ρ_s avec la relation suivante : $\rho_s = \rho_w - 0,45$ (Tableau 4)

3.1.4.3. Analyse et critique des résultats obtenus

Les profils de densité (Fig. 11) sont d'allure assez semblable bien que dans le détail il y ait quelques variations : la dispersion des valeurs est plus accusée de 0 à 20 cm et à partir d'1,50 m. A une densité apparente d'environ 1,3 en surface font suite, plus en profondeur, des densités de l'ordre d'1,5 à 1,6.

Le profil ST0 se manifeste par les valeurs les plus élevées

Tableau 4 : Calcul de la densité apparente sèche (stations ST1, ST2, ST3)

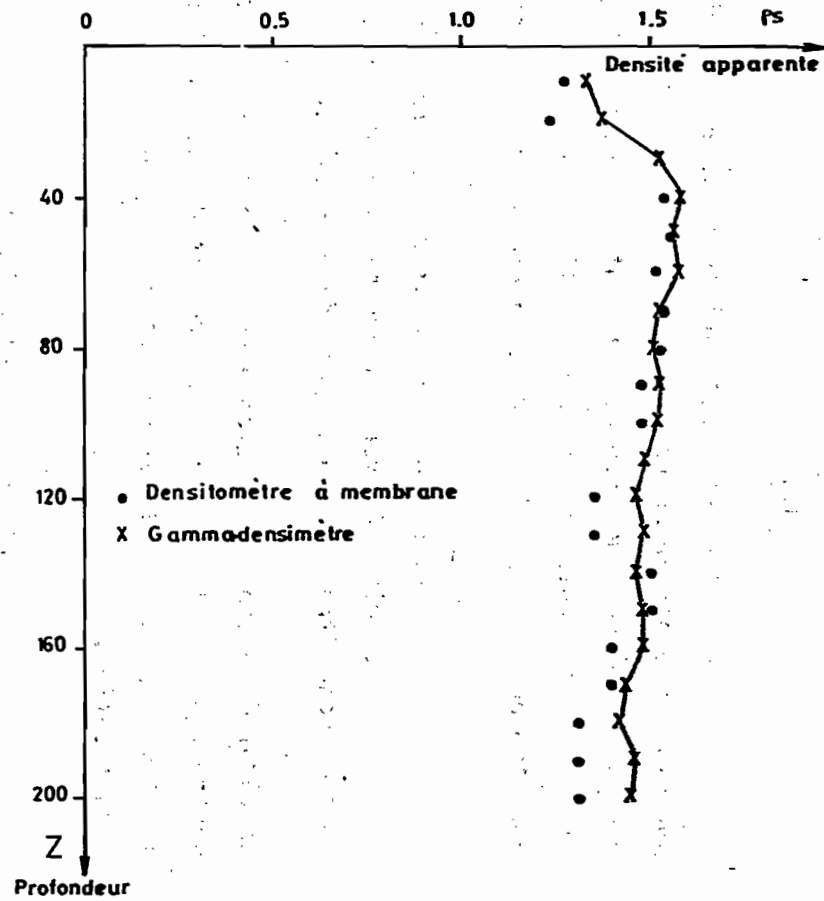
Z	ST1		
	ρ_w	$\theta \%$	ρ_s
10	1,75	45	1,30
20	1,81		1,36
30	1,86		1,41
40	1,90		1,45
50	1,89		1,44
60	1,95		1,50
70	1,95		1,50
80	1,96		1,51
90	2,04		1,59
100	2,04		1,59
110	2,08		1,63
120	2,07		1,62
130	2,07		1,62
140	2,04		1,59
150	2,02		1,57
160	1,92		1,47
170	1,87		1,42

	ST2		
	ρ_w	$\theta \%$	ρ_s
	1,73	45	1,28
	1,87		1,42
	1,92		1,47
	1,92		1,47
	1,91		1,46
	1,96		1,51
	1,99		1,54
	2,01		1,56
	2,02		1,57
	2,03		1,58
	2,01		1,56
	1,99		1,54
	2,00		1,55
	2,03		1,58
	2,09		1,64
	2,11		1,66
	2,10		1,65

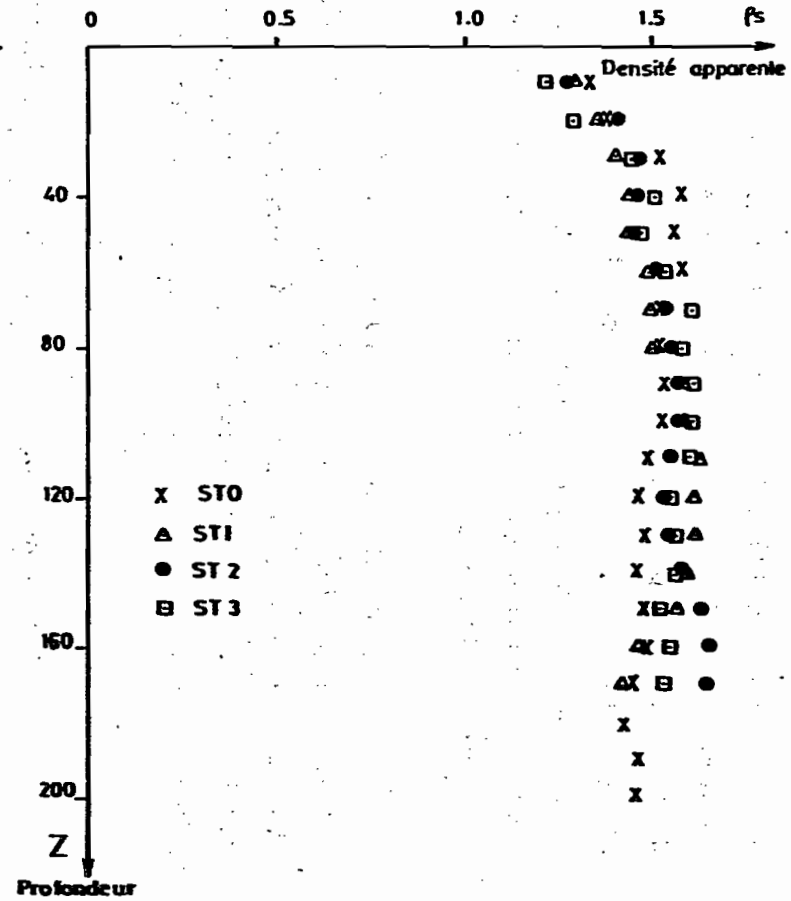
	ST3		
	ρ_w	$\theta \%$	ρ_s
	1,67	45	1,22
	1,74		1,29
	1,90		1,45
	1,96		1,51
	1,93		1,48
	1,99		1,54
	2,06		1,61
	2,04		1,59
	2,07		1,62
	2,06		1,61
	2,06		1,61
	2,00		1,55
	2,01		1,56
	2,02		1,57
	1,98		1,53
	2,00		1,55
	1,99		1,54

Fig.11 - Densité apparente

a - Mesures par 2 méthodes sur ST 0



b - Mesures au gamma densimètre sur les 4 stations



entre 30 et 60 cm (1,5 - 1,6) et les plus faibles entre 100 et 170 cm (1,4 - 1,5) : un décalage est à noter avec les 3 autres stations de 30 à 60 cm et de 140 à 170 cm. Les densités des 3 autres stations sont voisines entre 30 et 140 cm (écart maximum < 0,1). Cependant en ST2 la densité augmente progressivement de 1,4 à 1,6 en allant vers le bas du profil, alors que l'on constate, en ST1 et ST3, un léger renflement, situé respectivement à 80 - 140 cm et 60 - 100 cm. Une légère diminution de la densité apparaît en ST1 à partir de 1,40 m alors qu'en ST3 c'est plutôt l'inverse.

En recalculant sur ST0, la densité apparente comme au § 3.1.4.2., avec l'erreur que cela implique, nous remarquons que l'écart, observé plus haut entre ST0 et les 3 autres stations, est partiellement réduit. Les valeurs, relatives à ces dernières, restent cependant approchées, avec un intervalle de variation de l'ordre de 0,05.

3.1.5. Avantages et Inconvénients de la sonde gamma-neutronique

La valeur de θ est indispensable pour avoir la densité apparente sèche par la méthode gamma-neutronique. Mais si on veut obtenir θ avec une méthode neutronique il faut disposer de la valeur de ρ_s pour étalonner préalablement la sonde utilisée. On tourne donc en rond et nous touchons là une limite de ce genre d'appareillage.

Il faut en fait au moment des mesures sur le terrain :

. soit prélever des échantillons à chaque niveau de mesure pour en connaître l'humidité pondérale θ_p et par la relation $\rho_s = \frac{\rho_w}{1 + \theta_p}$ en déduire la densité apparente sèche. Cela évite l'étalonnage en mode neutronique. Seulement les prélèvements doivent se faire au moment de la mise en place des tubes d'accès de la sonde pour que l'humidité soit significative.

. soit utiliser simultanément une sonde (type SOLO ou autre) déjà étalonnée sur le site pour permettre l'évaluation de l'humidité volumique θ .

Néanmoins, mises à part les difficultés liées à l'étalonnage, la méthode gamma-neutronique offre l'avantage de recueillir, au cours du temps, un grand nombre de données sans perturber le milieu comme les autres méthodes. Cependant le poids et la forte radioactivité de l'appareillage ne contribuent pas encore à un emploi systématique.

3.2. Etalonnage de la sonde neutronique

Cet étalonnage va nous permettre de transformer les comptages obtenus à la sonde SOLO 10 en humidité volumique θ

3.2.1. Etalonnage sur le terrain

3.2.1.1. Principe

Des prélèvements de sol, effectués à la tarière tous les 20 cm depuis la surface, et ce à différentes époques de l'année, nous donnent après étuvage l'humidité pondérale θ_p . Connaissant la densité apparente (sèche) ρ_s pour chaque couche, nous déduisons alors la valeur de l'humidité volumique θ par la relation : $\theta = \rho_s \times \theta_p$

A partir des comptages in situ, pratiqués au moment des prélèvements et aux mêmes profondeurs, nous établissons pour un sol homogène une équation de régression de la forme :

$\theta = A \cdot \frac{(N' \times 1000)}{N_e} + B$ <p>ou encore $\theta = A \cdot N + B$</p>	θ humidité volumique (en %) A, B coefficients de la droite d'étalonnage N' comptage in situ (en impulsions/s, i/s) N_e comptage référence dans l'eau (en i/s) N comptage rapporté à 1000 i/s dans l'eau
--	--

En ramenant chaque comptage à 1000 i/s dans l'eau, nous pouvons ainsi comparer les mesures in situ entre elles, à différentes dates, car certains facteurs (état de charge des piles, température externe, dérive intrinsèque de cette sonde déjà ancienne...) occasionnent des variations

notables sur les comptages. Le comptage référence (ou standard) se pratique dans un fût de 200 l d'eau par une série de 10 mesures stabilisées (chauffe de l'appareil) avant et parfois une série de 5 mesures après (éventuelle dérive de la sonde au cours de la journée de relevés). L'obtention des comptages stabilisés nécessite 15 à 20 mesures en temps long (AM et V. VALLES, 1982).

3.2.1.2. Résultats

Le sol, n'étant pas homogène du point de vue de sa densité apparente, que ce soit au niveau du profil ou de la parcelle, il importe de procéder plutôt à un étalonnage par couche homogène pour chacune des stations.

Nous avons reporté dans le tableau 5 les équations obtenues pour chaque station à partir de 4-5 profils d'humidité, échelonnés de Mai 1982 à Mars 1983. La gamme d'humidité est suffisamment étendue dans les couches supérieures pour établir des corrélations satisfaisantes. A partir d'une certaine profondeur (140 cm pour ST0 et ST1, 100 cm pour ST2 et ST3) l'intervalle de variation des humidités reste inférieur à 10% : le nuage de points, qui en résulte, est grossièrement allongé dans le sens d'une relation à pente positive. Nous avons calculé, à titre indicatif, les équations correspondantes, mais celles-ci, ne présentant pas de signification, nous n'avons pas tracé leurs courbes.

L'étalonnage en ST0 se révèle bien distinct de celui relatif à chacune des autres stations (Fig. 12 et voir en annexe). Nous avons remarqué, sur le terrain, des comptages systématiquement plus élevés sur cette station.

Les droites de la couche 0-20 cm sont caractérisées par des pentes et des ordonnées à l'origine assez voisines, avec cependant un léger redressement en allant de ST0 vers ST3.

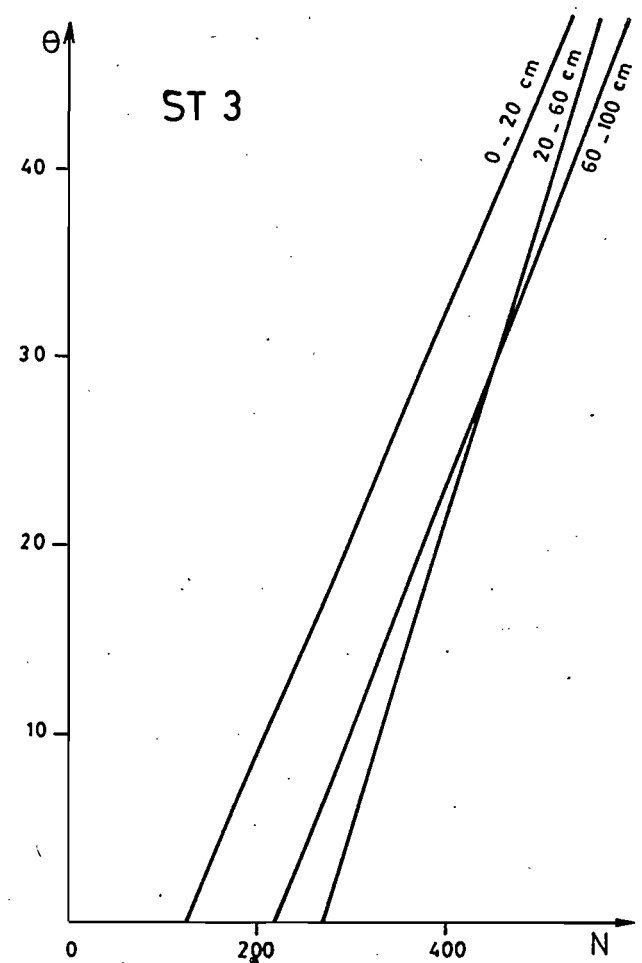
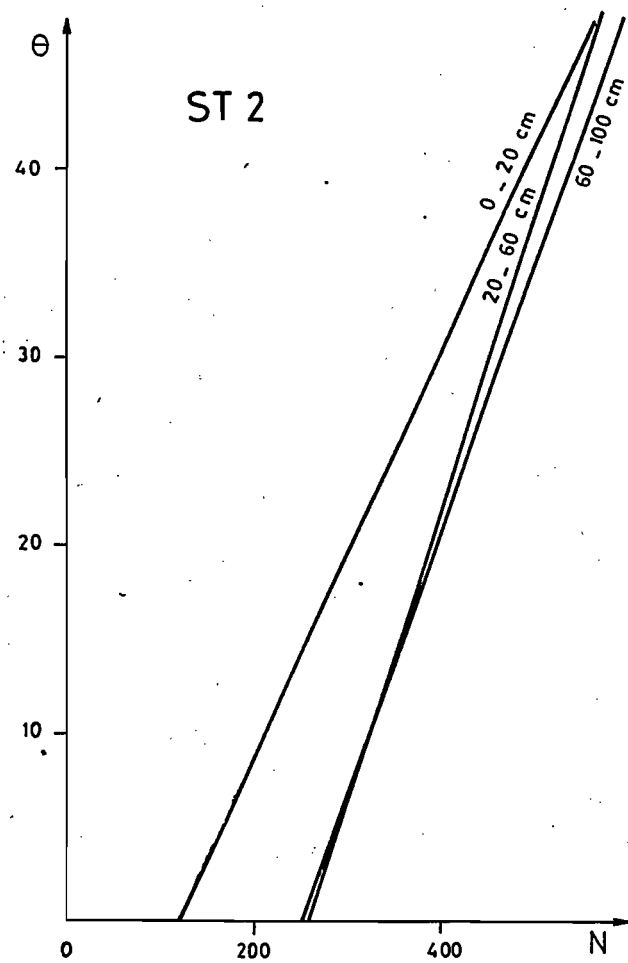
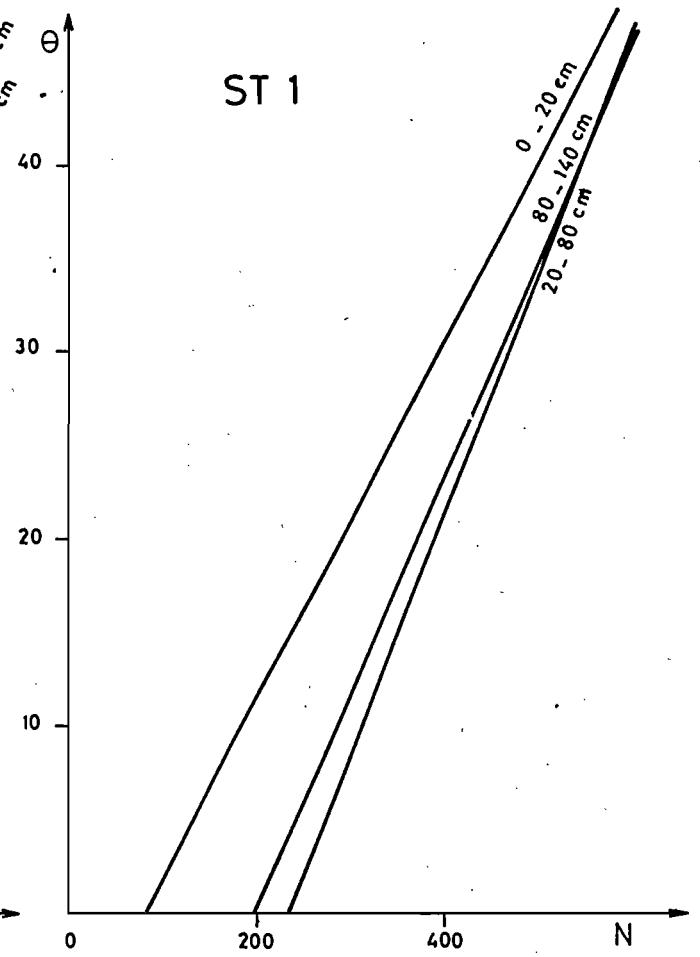
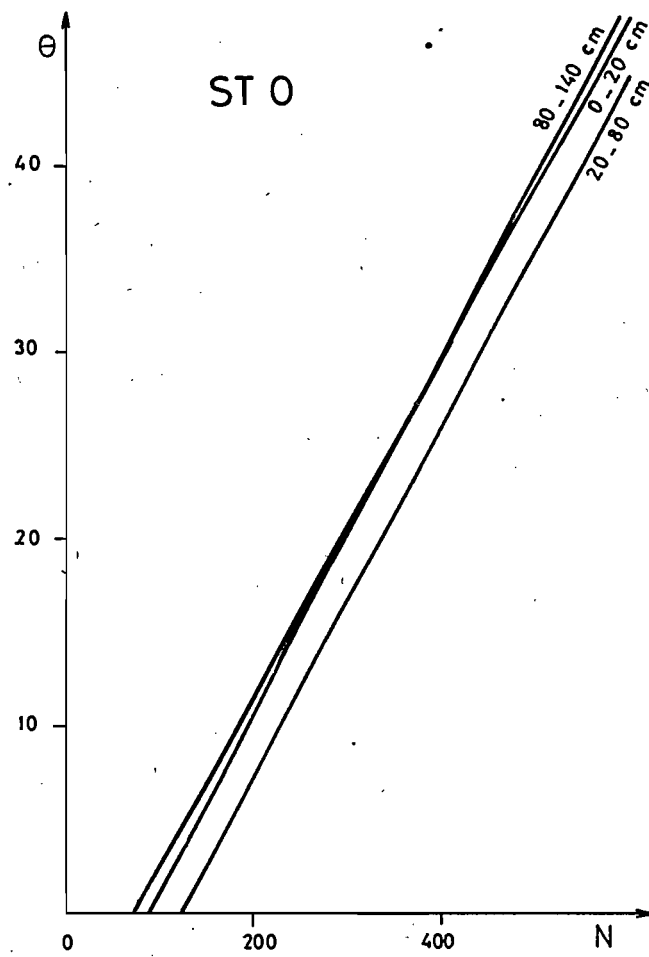
A partir de 20 cm, la distinction précédente s'avère nettement plus prononcée. Si les droites de ST0 se rapprochent de la droite établie en surface, celles des 3 autres stations s'en écartent tout en se redressant. Ce redressement est plus accentué à mesure que l'on va vers ST3.

Tableau 5 : Caractéristiques des équations d'étalonnage

Station	Couche (cm)	ρ_s	Equation d'étalonnage	Coeff. regres	Nombre de points
ST0	0 - 20	1,4	$\theta = 0,091 N - 6,8$	0,994	6
	20 - 80	1,55	$\theta = 0,093 N - 11,4$	0,996	11
	80 - 140	1,5	$\theta = 0,095 N - 8,5$	0,963	12
	140 - 200	1,45	$\theta = 0,110 N - 18,1$	0,731	12
ST1	0 - 20	1,4	$\theta = 0,096 N - 7,6$	0,995	8
	20 - 80	1,45	$\theta = 0,128 N - 29,9$	0,985	14
	80 - 140	1,6	$\theta = 0,116 N - 22,9$	0,959	15
	140 - 180	1,5	$\theta = 0,091 N - 14,0$	0,905	8
ST2	0 - 20	1,4	$\theta = 0,109 N - 13,3$	0,993	8
	20 - 60	1,45	$\theta = 0,155 N - 40,5$	0,980	9
	60 - 100	1,55	$\theta = 0,141 N - 35,7$	0,990	8
	100 - 160	1,6	$\theta = 0,062 N + 4,1$	0,932	9
ST3	0 - 20	1,3	$\theta = 0,117 N - 14,6$	0,990	7
	20 - 60	1,45	$\theta = 0,161 N - 43,1$	0,969	8
	60 - 100	1,6	$\theta = 0,127 N - 27,6$	0,952	8
	100 - 140	1,55	$\theta = 0,079 N - 5,8$	0,791	6

Fig.12 - Droites d'étalonnage

40



. L'étalonnage en ST0 est sensiblement équivalent à celui obtenu par M. MECHERGUL pour les couches 0-20 cm (pente légèrement plus faible) et 20-70/80 cm. Le remplacement de son horizon 70-110 cm par l'horizon 80-140 cm (la densité apparente restant à peu près la même) provoque une translation de sa droite d'étalonnage de + 5,9% d'humidité volumique (voir en annexe).

3.2.1.3. Discussion et critique des résultats

Comme nous le verrons au paragraphe 3.2.2., l'étalonnage de terrain, pratiqué sur la station ST0, s'accorde avec un étalonnage théorique effectué en laboratoire. L'étalonnage, relatif aux 3 autres stations, ayant été fait sur le terrain en même temps et de la même manière que celui de ST0, il y a lieu de se demander ce qui peut provoquer une telle différence entre les coefficients respectifs des droites d'étalonnage. Les comptages étant toujours plus faibles sur ces 3 stations, nous pouvons songer qu'il s'agit là, soit d'un mauvais colmatage le long des tubes d'accès, dû à leur implantation plus récente, soit d'un drainage beaucoup plus efficient. Cette dernière hypothèse semblerait mieux devoir se justifier : les valeurs voisines de la densité apparente pour les 4 stations donnent des valeurs de la porosité totale également assez proches (environ 45% en surface et 35-40% en profondeur), mais la teneur en argile plus élevée en ST0 indiquerait une microporosité plus importante, d'où un écoulement des eaux plus lent. Néanmoins ce plus fort pourcentage en argile devrait entraîner, sur les droites d'étalonnage, une diminution de l'ordonnée à l'origine, du fait de la teneur plus élevée en eau de constitution. Comme c'est l'inverse qui se produit dans notre cas, la nature même de l'argile interviendrait peut être, dans une certaine mesure. Ces hypothèses devront être vérifiées ultérieurement (analyse des argiles, calcul des vitesses d'infiltration, étalonnage théorique...) Cependant la seule connaissance de la pente de la droite d'étalonnage est suffisante pour travailler en variation de

stocks d'eau (sur un profil ou un horizon) entre deux périodes données (H. CAMUS, 1974).

Pour suivre l'évolution des profils hydriques, nous utiliserons, pour l'ensemble des stations, les résultats de l'étalonnage de terrain, qui nous permet de travailler en valeurs absolues.

3.2.1.4. Validité de l'étalonnage

Pour contrôler que l'étalonnage de la sonde SOLO 10 est satisfaisant nous avons comparé les profils hydriques issus des droites d'étalonnage à ceux obtenus directement sur le terrain à partir des échantillons prélevés (Fig.13).

Les profils se superposent assez bien, avec un écart ne dépassant pas 5% d'humidité volumique.

3.2.2. Etalonnage théorique au bloc graphite

Il a été pratiqué pour le site ST0 au C.E.N. Cadarache sur 4 échantillons représentatifs du profil pédologique (MECHERGUI, 1980). Nous rappelons brièvement le principe et les résultats obtenus.

Pour chaque échantillon, deux prélèvements d'environ 300 g de terre séchée à 105°C et tamisée à 2 mm, sont irradiés par une source radioactive (^{57}Co) à l'intérieur et à l'extérieur d'un bloc de graphite (cube d'1 m de côté). La détermination des paramètres d'absorption (liée aux neutrons rapides) et de diffusion (liée aux neutrons thermiques) permet d'établir, à partir d'un programme de calcul, une relation $N = f(\theta, \rho_s)$, soit :

$$N = (\alpha \cdot \rho_s + \beta) \cdot \theta + (\gamma \cdot \rho_s + \delta) \quad \alpha, \beta, \gamma, \delta \text{ constantes}$$

Pour une valeur ρ_s donnée la relation devient $N = A \cdot \theta + B$ ou de la forme

$$\theta = 1/A \cdot N - B/A = A' \cdot N + B' \quad \begin{array}{l} N \text{ comptage rapporté à } 1000 \text{ i/s dans l'eau} \\ A', B' \text{ coefficients de l'étalonnage} \\ \theta \text{ humidité volumique (en \%)} \end{array}$$

Fig.13- Profils hydriques établis à partir d'échantillons de sol et de l'étalonnage de la sonde neutronique

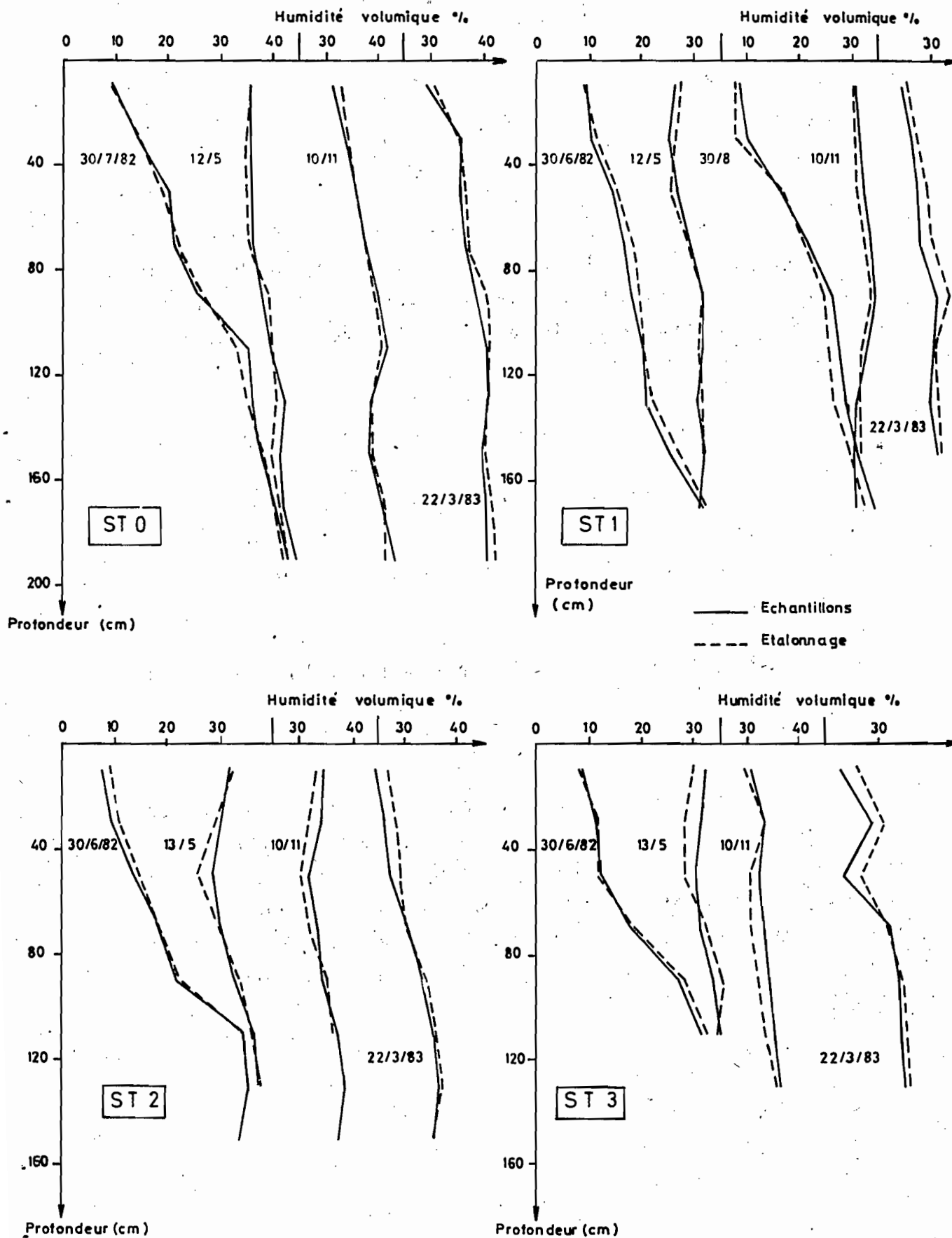


Tableau 6

Couche (cm)	α	β	γ	δ	ρ_s	Equation $\theta=f(N)$
0 - 20	0,85	9,44	92,52	- 76,14	1,38	$\theta = 0,094.N - 4,9$
20 - 80	1,07	9,75	104,00	- 84,09	1,54	$\theta = 0,088.N - 6,7$
80 - 140	0,72	9,39	93,15	- 75,79	1,51	$\theta = 0,095.N - 6,2$
140 - 200	0,50	9,09	86,29	- 70,24	1,47	$\theta = 0,102.N - 5,8$

. Les petites modifications apportées aux densités apparentes entraînent un ajustement des droites d'étalonnage au bloc graphite, calculées par M. MECHERGUI. Les nouvelles droites restent parallèles aux précédentes, l'ordonnée à l'origine variant très peu : - 1% de 0 à 20 cm, - 0,3% de 80 à 140 cm (voir en annexe).

. Par rapport à l'étalonnage de terrain, il apparaît que, quelque soit la profondeur, les droites théoriques sont toujours situées au-dessus. Cependant l'écart reste faible, même si les droites ne sont pas tout à fait parallèles (voir en annexe). Il y a donc bien concordance entre les deux méthodes d'étalonnage pour la station ST0.

3.3. Quelques remarques sur l'emploi de la sonde à neutrons

3.3.1. Mesures en surface

L'utilisation d'un réflecteur neutronique permet d'aborder pour les couches superficielles (0 à 20 cm), la détermination de θ , étant donné les dimensions de la sphère d'influence. Il est communément admis que l'on peut effectuer sans trop de risques d'erreurs la mesure à 10 cm. Cependant lorsque le milieu est très sec, le réflecteur a l'inconvénient de devenir trop hydrogéné par rapport au matériau, d'où une surestimation du comptage.

3.3.2. Choix du temps de comptage

L'émission de neutrons par la sonde est un phénomène aléatoire, qui se manifeste par une plus ou moins grande dispersion des mesures à une même profondeur, suivant le temps de comptage sélectionné. La sonde SOLO 10 présente un "temps court" (20 s) et "un temps long" (80 s), la dispersion étant nettement moins importante dans le second cas. L'utilisation du "temps court" ne donnant pas pleine satisfaction (J. VIEILLEFON, P. ZANTE, 1981), nous avons préféré faire deux mesures systématiques en "temps long", telles que $(N1 - N2) \leq 51/s$ (erreur relative proposée par le constructeur) et en prendre la moyenne. Si cette condition n'est pas remplie, on en effectue une troisième et on considère les deux comptages dont la différence est inférieure ou égale à 51/s.

3.3.3. Changement d'appareil

L'utilisation temporaire de la sonde SOLO 20 n'entraîne pas de grandes modifications sur les comptages : écart de 5 impulsions/s en moyenne (AM. et V. VALLES, 1982).

3.3.4. Présence "d'argiles gonflantes"

L'emploi de la sonde neutronique pour un sol présentant des modifications de la macroporosité dans les horizons supérieurs, par suite du gonflement et du retrait du matériau argileux, reste assez délicat. Lors des périodes de dessiccation les fentes de retrait apparaissent assez rapidement créant un réseau de vides plus ou moins développé selon la durée de ces périodes. Les instruments, implantés dans le sol, sont directement affectés par ce phénomène qui rompt leur contact intime avec le matériau.

Lors de l'établissement des courbes d'étalonnage nous avons considéré que la densité apparente restait invariable tout au long de l'année. Cependant l'apparition de ces fentes de retrait peut influencer sur les valeurs de cette densité et par suite sur celle de l'humidité.

3.3.5. Influence de la salinité

L'augmentation de la teneur en sels, notamment en chlorure de sodium, peut modifier sensiblement la réponse de la sonde à neutrons. En effet la présence d'atomes de chlore favorise l'absorption des neutrons, entraînant ainsi un défaut de comptage. Cette teneur, pouvant varier au cours du temps, il est assez difficile d'en tenir compte dans l'étalonnage. En conditions naturelles, nous avons négligé cet élément, car les fortes conductivités affectent les couches profondes, où l'humidité varie peu (étalonnage non significatif). Sous irrigation avec des eaux chargées, nous ne modifierons pas les droites d'étalonnage, mais l'interprétation des résultats devra éventuellement tenir compte de ce facteur.

CONCLUSION GENERALE

Les premiers éléments recueillis pendant cette campagne tendent à distinguer la station ST0 par rapport aux 3 autres : les caractéristiques physico-chimiques et l'étalonnage de la sonde neutronique l'attestent. L'hétérogénéité, ainsi observée, pourrait induire un comportement vis à vis de l'eau quelque peu différent. Les autres paramètres mesurés en 1982-1983 doivent apporter des informations plus précises à ce sujet.

BIBLIOGRAPHIE

- BEN HASSINE H., BEN HASSINE T., BEN AMMAR A. (1980) - Salure et profondeur de la nappe phréatique au périmètre irrigué d'El Habibla (Août 1979 et Mars 1980). DRES - OMVVM, Tunis, ES 128 A, 11p., 2 cartes.
- BEN HASSINE H., BEN HASSINE T., BEN AMMAR A. (1980) - Evolution saisonnière et variation inter-annuelle de la salure du sol dans la basse vallée de la Medjerda. DRES - OMVVM, Tunis, ES 193, 22 p., 2 cartes.
- CAMUS H. (1974) - Homogénéisation des mesures d'humidité du sol faites avec diverses sondes à neutrons et à partir d'étalonnages différents. Cah. ORSTOM, Série Hydrologie, vol. XI n° 1 pp. 3-33.
- NORMAND M. (1974) - Méthode d'étalonnage d'un humidimètre à neutrons utilisant les mesures de densité du densimètre gamma associé. "Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigation studies 1973", Proc. Symp. IAEA et FAO, Vienne, 1-5 oct. 1973, Vienne, IAEA, pp. 53-69.
- MECHERGUI M. (1980) - Etude dynamique de l'eau dans le sol dans les conditions naturelles par les méthodes tensiométrique et neutronique. Mém. fin études, INA Tunis, 129 p. + annexes.
- MONTOROI J.P. (1981) - Etude de deux séquences de sols salés dans le nord et le sud tunisien (basse vallée de la Medjerda et région de Gabès). DRES, Tunis, 101 p. + annexes.
- VALLES V. et A.M. (1982) - Etude méthodologique des transferts d'eau et des sels dans un monolithe de sol argileux. 2ème partie : caractérisation hydrodynamique et modélisation des transferts d'eau. DRES - ORSTOM, Tunis, ES 199, 47 p.
- VIEILLEFON J., ZANTE P. (1981) - Etude du régime hydrique et de la salu-

re en périmètre irrigué sur sol gypseux salé. Compte rendu de la campagne de mesures 1979-1980 . DRES-ORSTOM, Tunis, ES 190, 101 p.

ANNEXES

- pluviométrie 1982
- profil pédologique et analyses physico-chimiques
- droites d'étalonnage de la sonde à neutrons
- plan topographique

PLUVIOMETRIE D'EL HABIBIA EN 1982 (répartition mensuelle)

TOTAL = 528,5 mm (11 mois)

	JAN.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI	JUN.	JUL.	AOU.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	
1				4							11	22,5	1
2				0,5									2
3											3,5		3
4												3	4
5			1									1,5	5
6			29,5									9	6
7			1	2									7
8				1	5,5			11					8
9					13,5							1	9
10										30,5		0,5	10
11					4,5						23	4	11
12											29,5		12
13									71,5			0,5	13
14				7					16,5		3,5	3	14
15				1							3,5		15
16				5,5							2		16
17											9		17
18												23	18
19			1	12,5								8	19
20			0,5	4,5						0,5			20
21				4						1,5			21
22		8	4,5						5			6,5	22
23			5										23
24		4	0,5	0,5								3	24
25		0,5	2,5	0,5								2	25
26		5										1,5	26
27		1,5									7,5		27
28				0,5						27,5	14,5		28
29			1							2		2	29
30			0,5	0,5							1,5		30
31										29,5			31
		19	47	44	23,5	0	0	11	93	91,5	108,5	91	

EL HABIBIA

Date description : 09.02.81

Situation : à 50 m de la route El Habibia - Djedeïda, sur l'emplacement d'une station expérimentale.

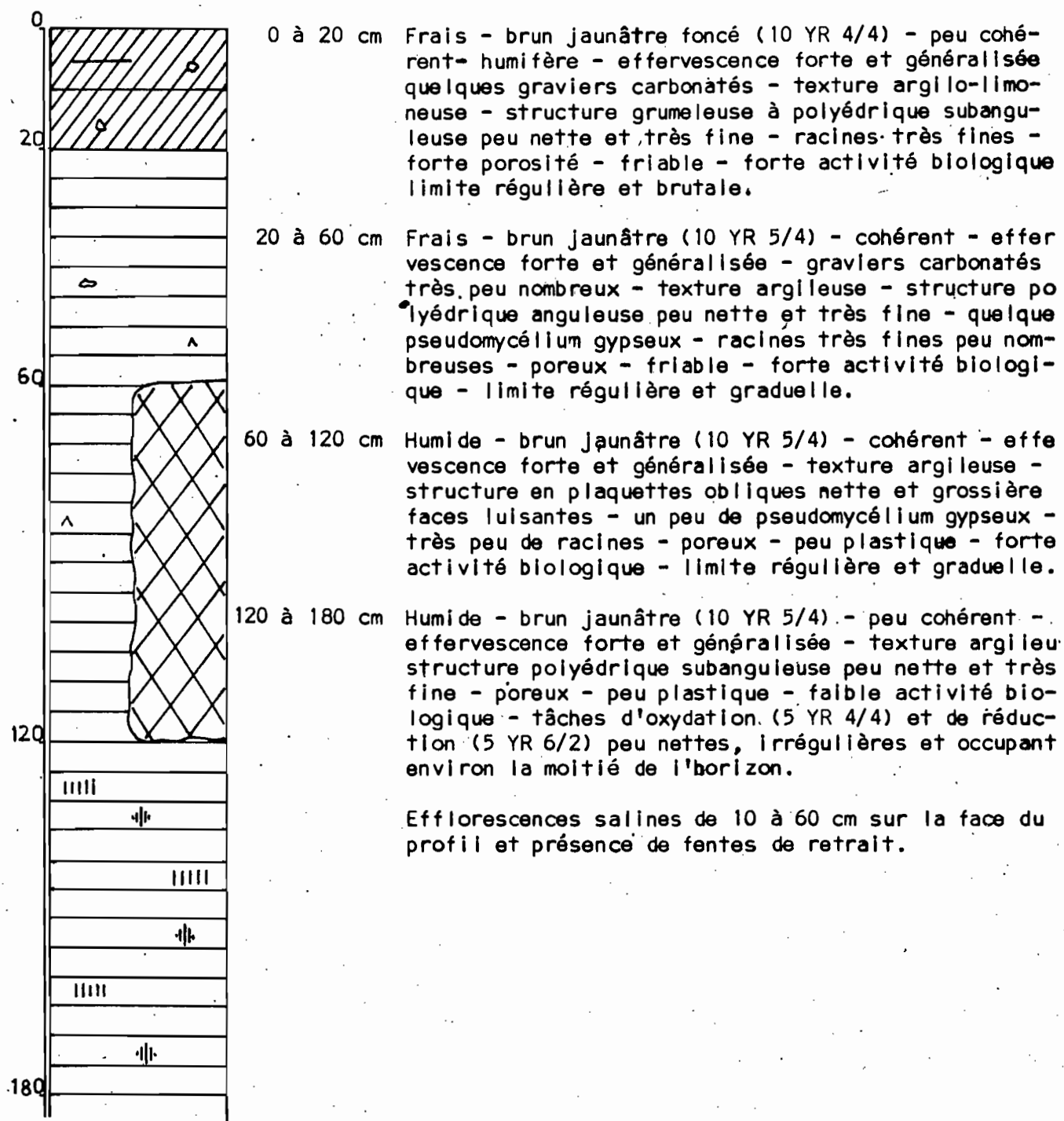
Unité géomorphologique : plaine alluviale, pente faible 2%, drainage normal

Végétation : herbacée (plantes annuelles) à l'endroit du profil; sol nu sur le reste de la parcelle labourée ; utilisation agricole intensive
brise-vents

Microrelief : fentes de retrait en surface

Matériau originel : alluvions récentes (quaternaire)

Type de sol : sol peu évolué, non climatique, d'apport alluvial, vertique, sur alluvions carbonatées.



NOM ETUDE

EL HABIBIA

REPUBLIQUE TUNISIENNE

AUTEUR

D.R.E.S.

CLASSIFICATION

Division des Sols

An./n°ét./n°pr./coord.

année mois

n°étude

n°profil

coordonnées

n° ECHANTILLON

n° HORIZON

PROFONDEUR cm

COULEUR Y=0 R=1

11/2/81

1078

4

446

447

448

449

450

4-1

4-2

4-3

4-3

4-4

10-20

30-40

70-80

90-105

125-140

10YR4/4

10YR5/4

10YR5/4

10YR5/4

10YR5/4

GRANULOMETRIE

Humidité %	24,8	21,8	22,8	27,4	29,0		
Argile %	38	49	53	56	60		
Limons fins %	27	27	26	26	28		
Limons grossiers %	11	8	7	7	7		
Sables fins %	18	12	9	5	2		
Sables grossiers %	4	2	2	2	1		
Refus 2 mm %							

MATIERES ORGANIQUES

Matière organique %	1,3	0,6	0,4	0,4	0,3		
Carbone %	0,8	0,4	0,3	0,2	0,2		
Azote total %	0,20	0,28	0,07	0,02	0,11		
C/N	4	1	4	10	2		

RESERVES MINERALES

CaCO3 Total %	31	32	32	30	29		
CaCO3 Actif %	21	24	24	24	24		
P205 Total % (ppm)	1300	1112,5	1112,5	1187,5	1325		
P205 Assiml. (ppm)	186	107	141	132	177		
K2O %	5,76	5,93	6,23	5,99	6,82		
Gypse %	Traces	T	T	T	T		

COMPLEXE AESORBANT

Ca ++ m.é./100 g	17,2	17,9	17,0	14,5	10,4		
Mg ++ m.é./100 g	5,7	6,0	1,1	6,6	5,8		
K + m.é./100 g	0,8	0,3	0,3	0,4	0,4		
Na + m.é./100 g	1,3	1,5	2,3	3,7	3,5		
S m.é./100 g	25,0	25,7	30,7	25,2	20,1		
T m.é./100 g	24,9	25,8	34,7	25,2	20,0		
Na/T %	5	6	7	15	18		

SOLUTION DU SOL

% Saturation	55	65	75	95	105		
pH eau 1/2,5	8,3	8,1	8,3	8,4	8,6		
Conductiv. mmhos/cm	1,0	1,8	1,9	1,8	2,6		
Extrait sec mg/l							
CO3 -- m.é./l							
CO3H -- m.é./l					5,0		
SO4 -- m.é./l					10,0		
Cl -- m.é./l					11,4		
NO3 -- m.é./l							
Ca ++ m.é./l					1,7		
Mg ++ m.é./l					5,4		
Na + m.é./l					20,4		
K + m.é./l					0,02		

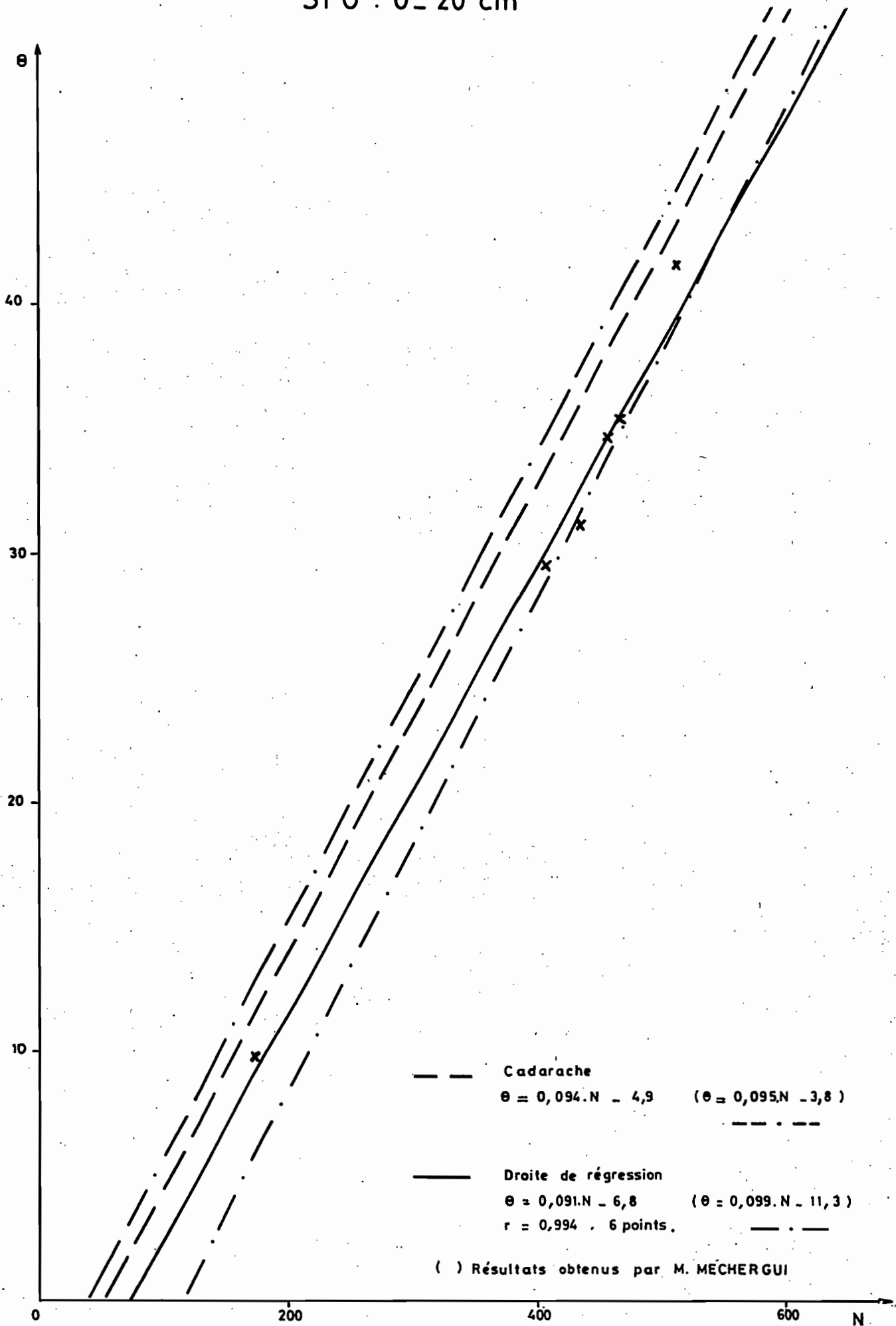
FER

Fer Total Fe2O3 %	68,0	60,0	74,0	71,0	74,0		
Fer Libre Fe2O3 %	20,5	24,5	26,0	28,5	31,0		

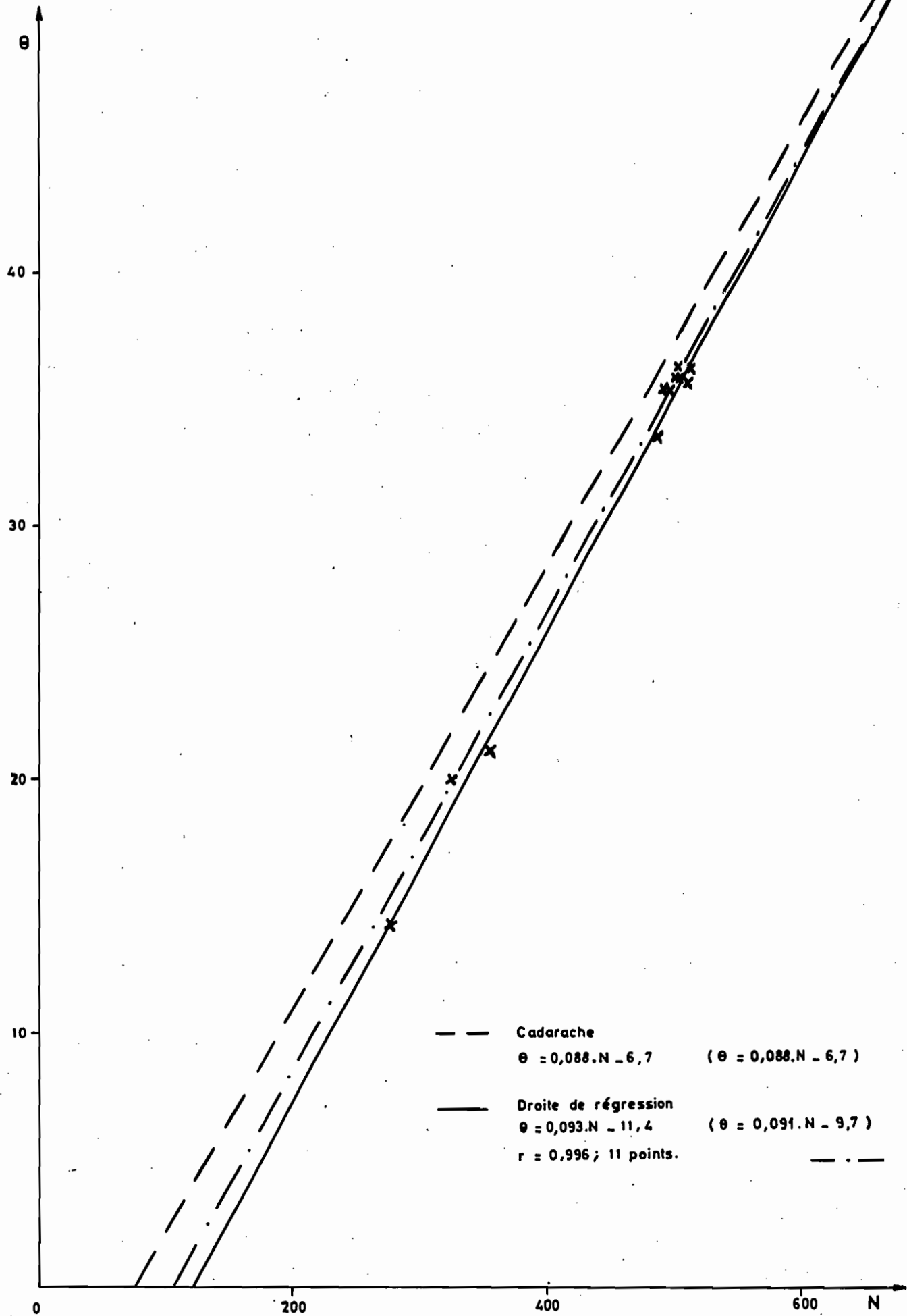
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Densité réelle	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4		
Densité apparente	1,3	1,6	1,6	1,5	1,4		
Porosité	46	36	36	38	42		
pF 4,2 %	18,5	19,5	20,9	22,1	25,7		
pF 2,8 %	27,3	27,5	30,5	34,7	36,6		

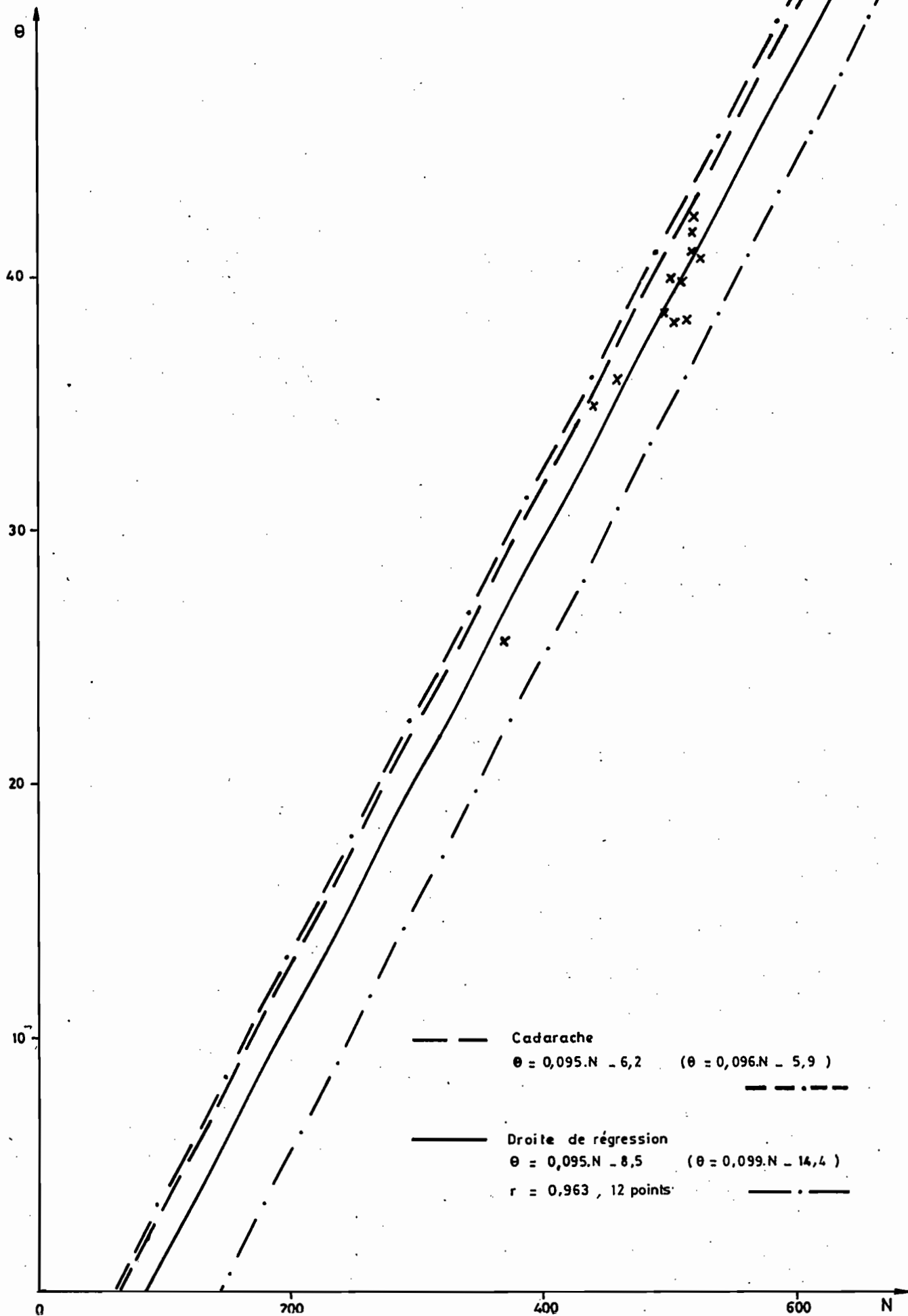
ST 0 : 0 - 20 cm



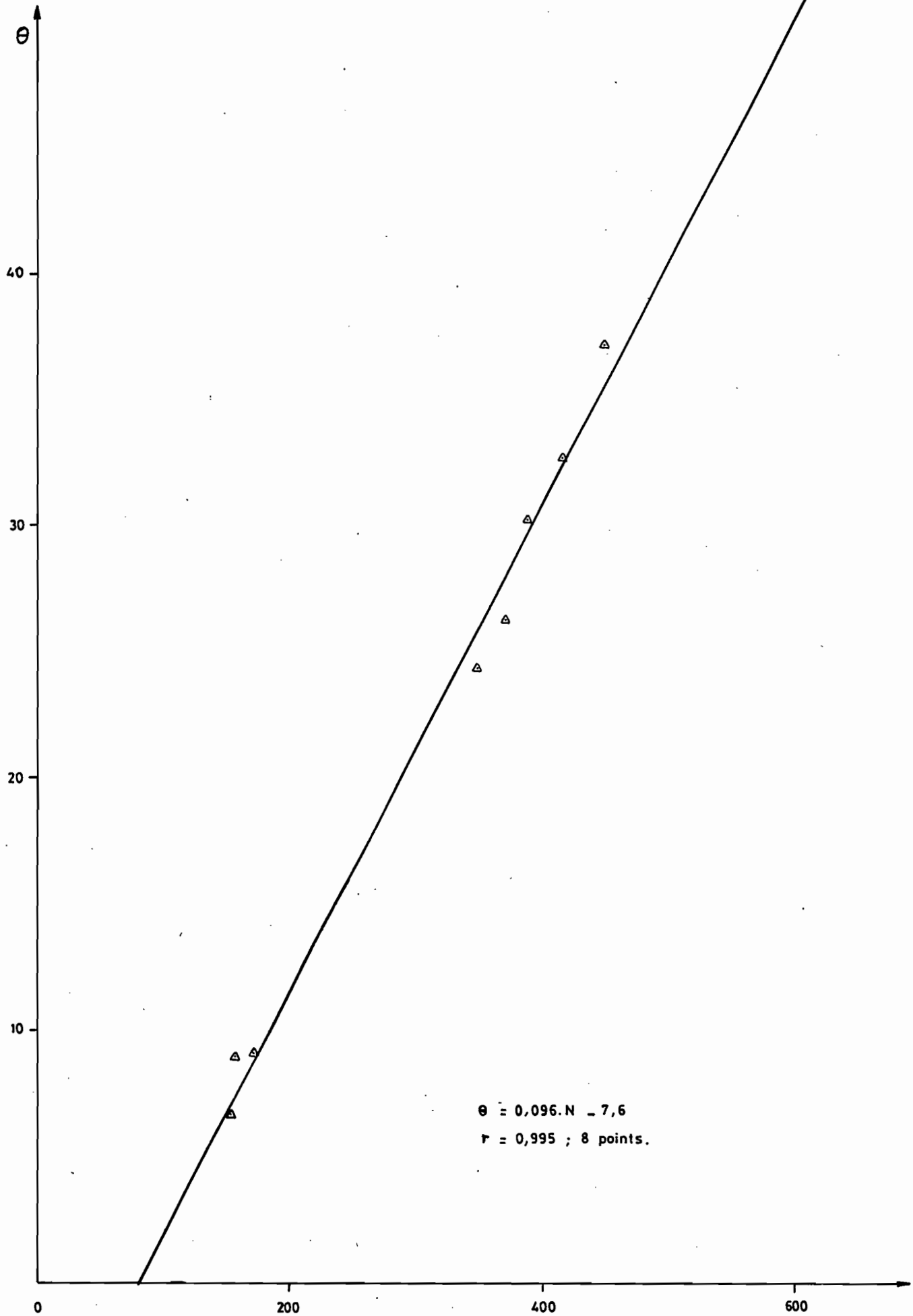
ST 0 : 20 - 80 cm



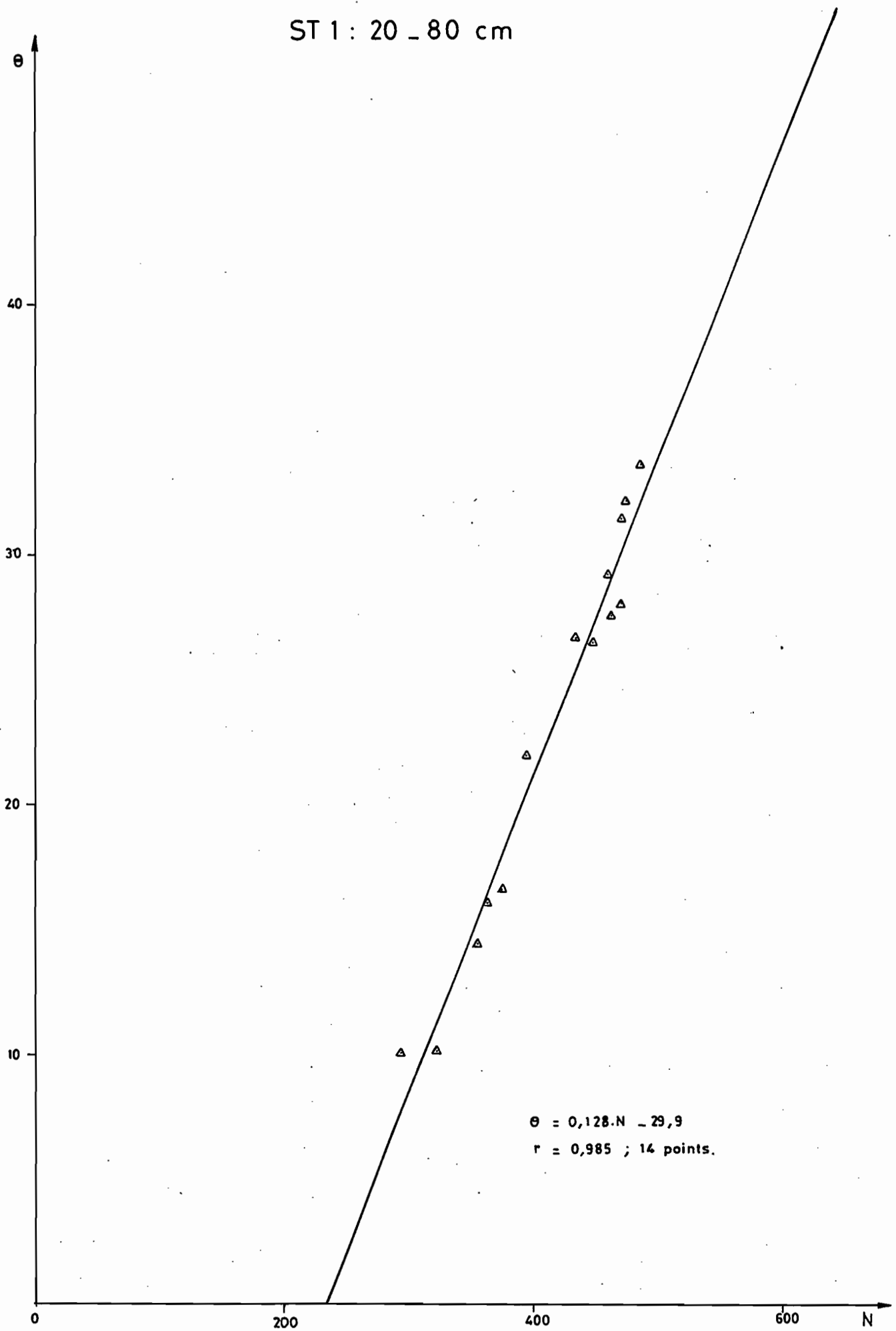
STO : 80 - 140 cm



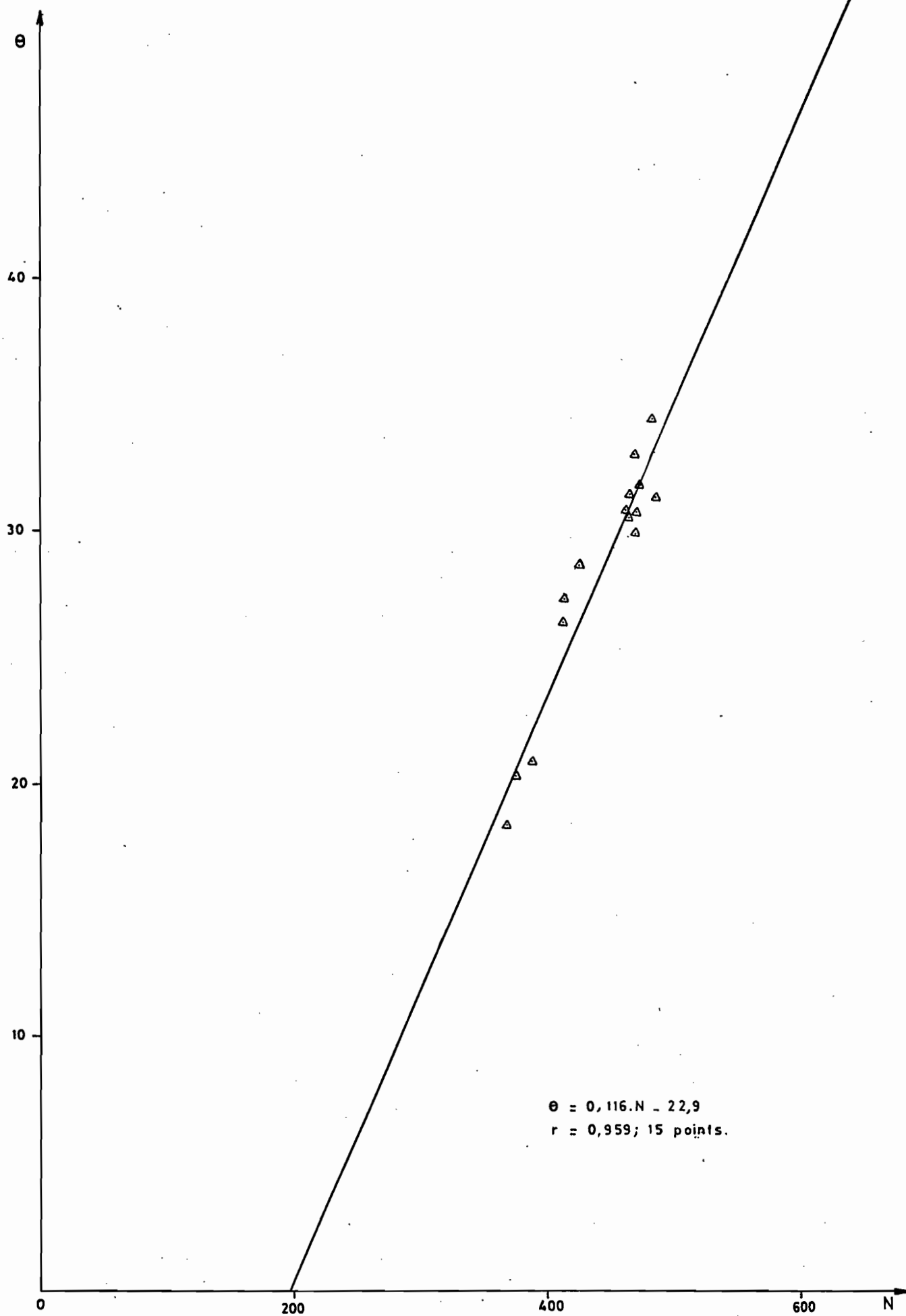
ST1: 0 - 20 cm



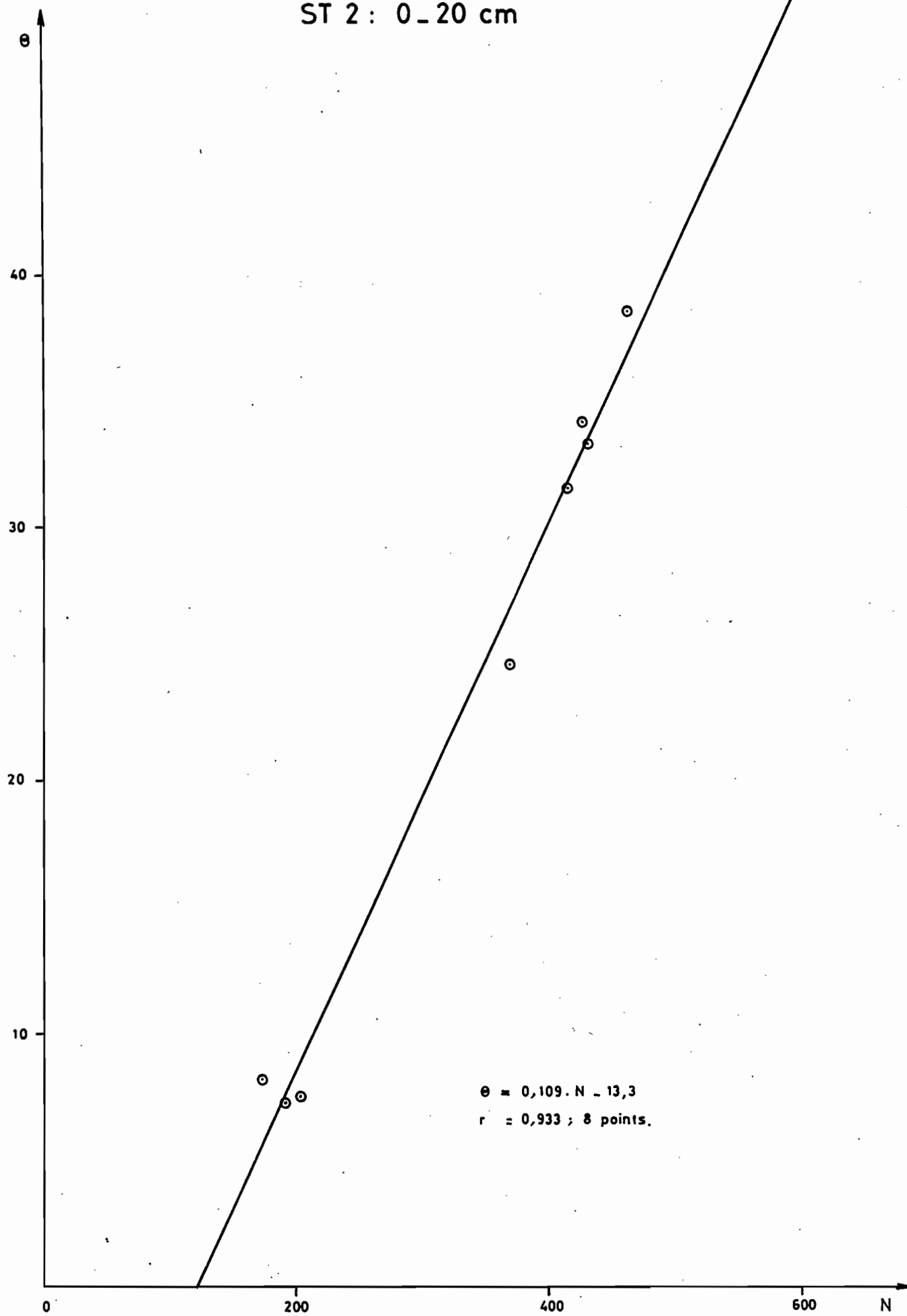
ST 1 : 20 - 80 cm



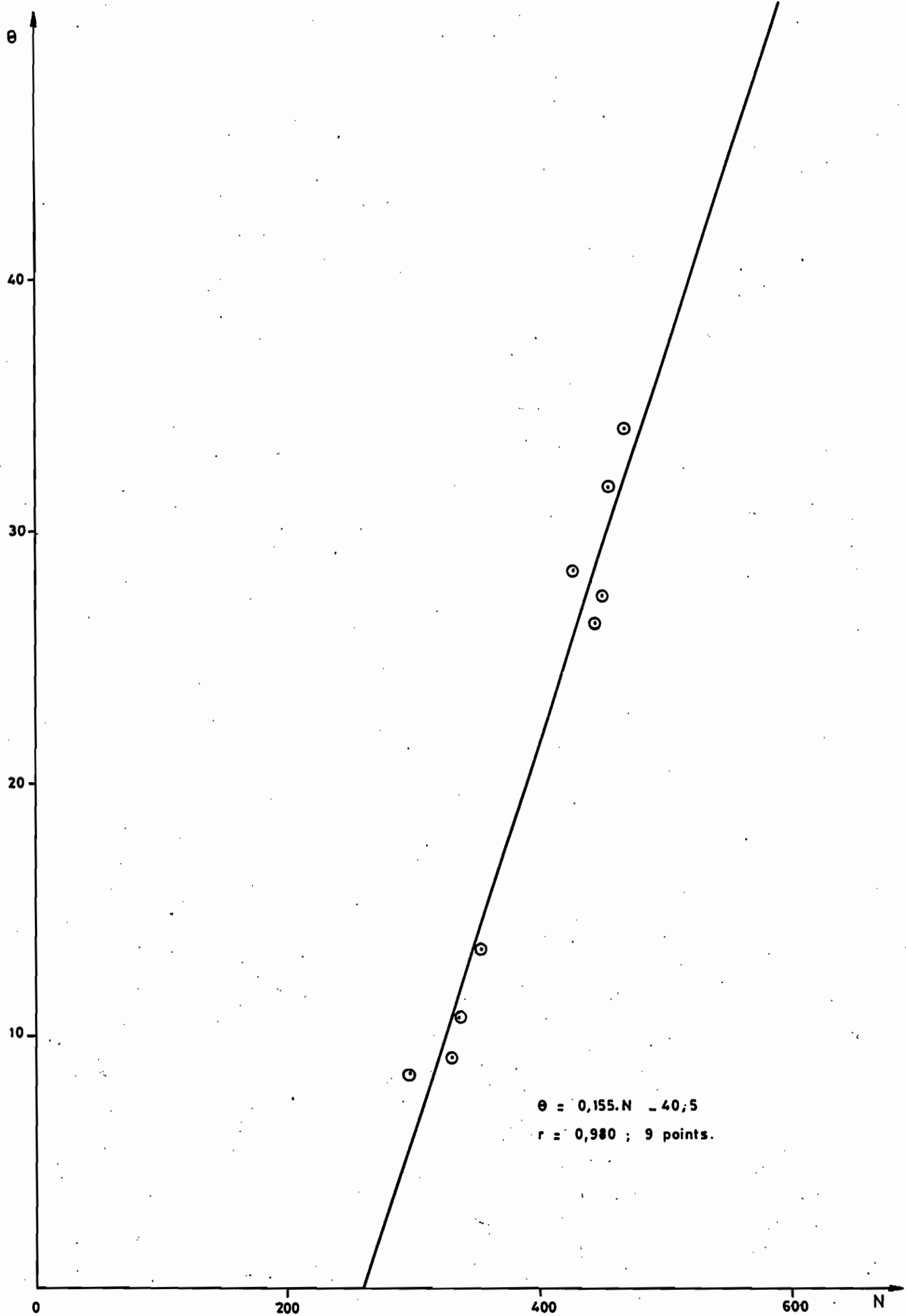
ST 1 : 80 -140 cm



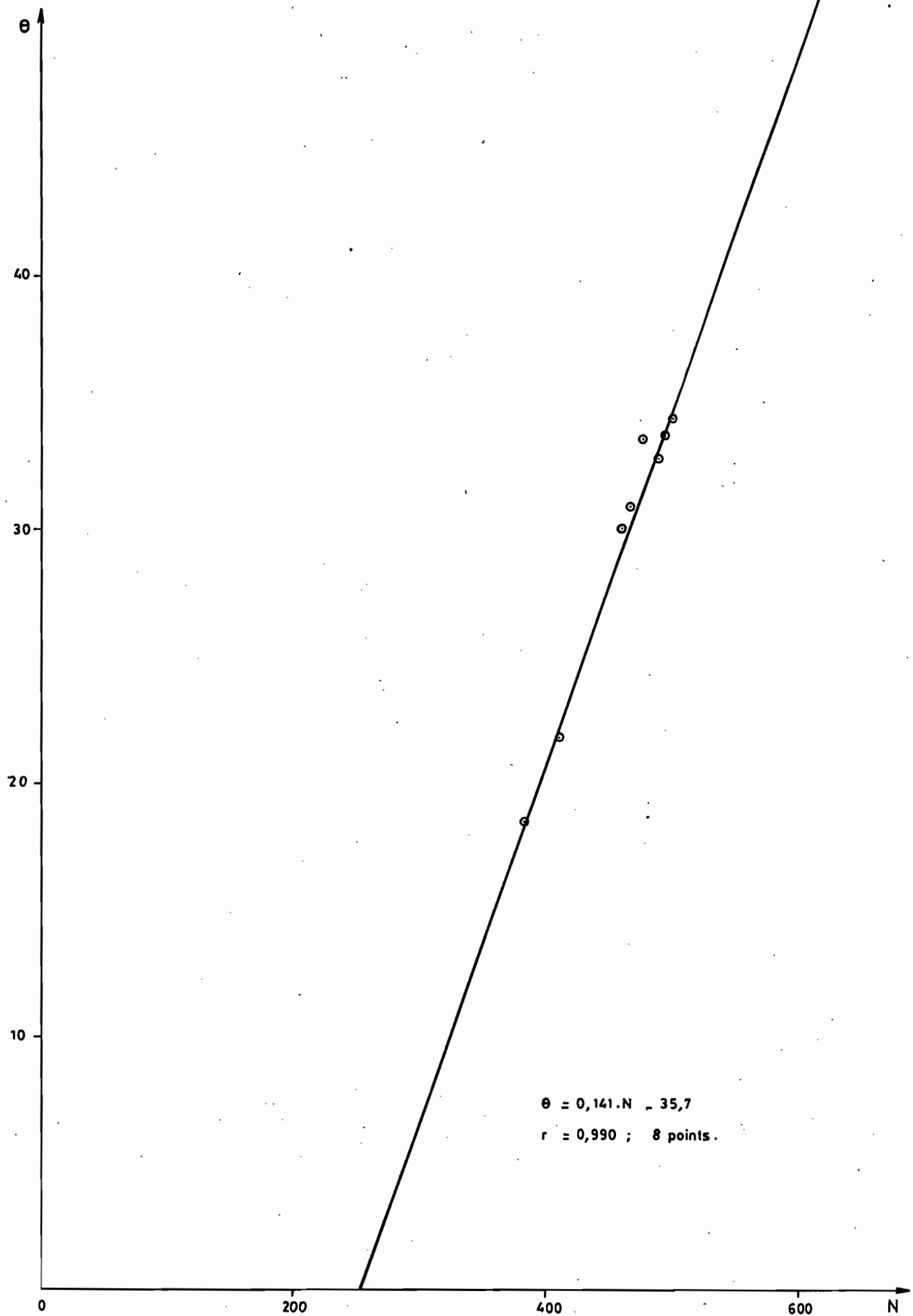
ST 2 : 0_20 cm



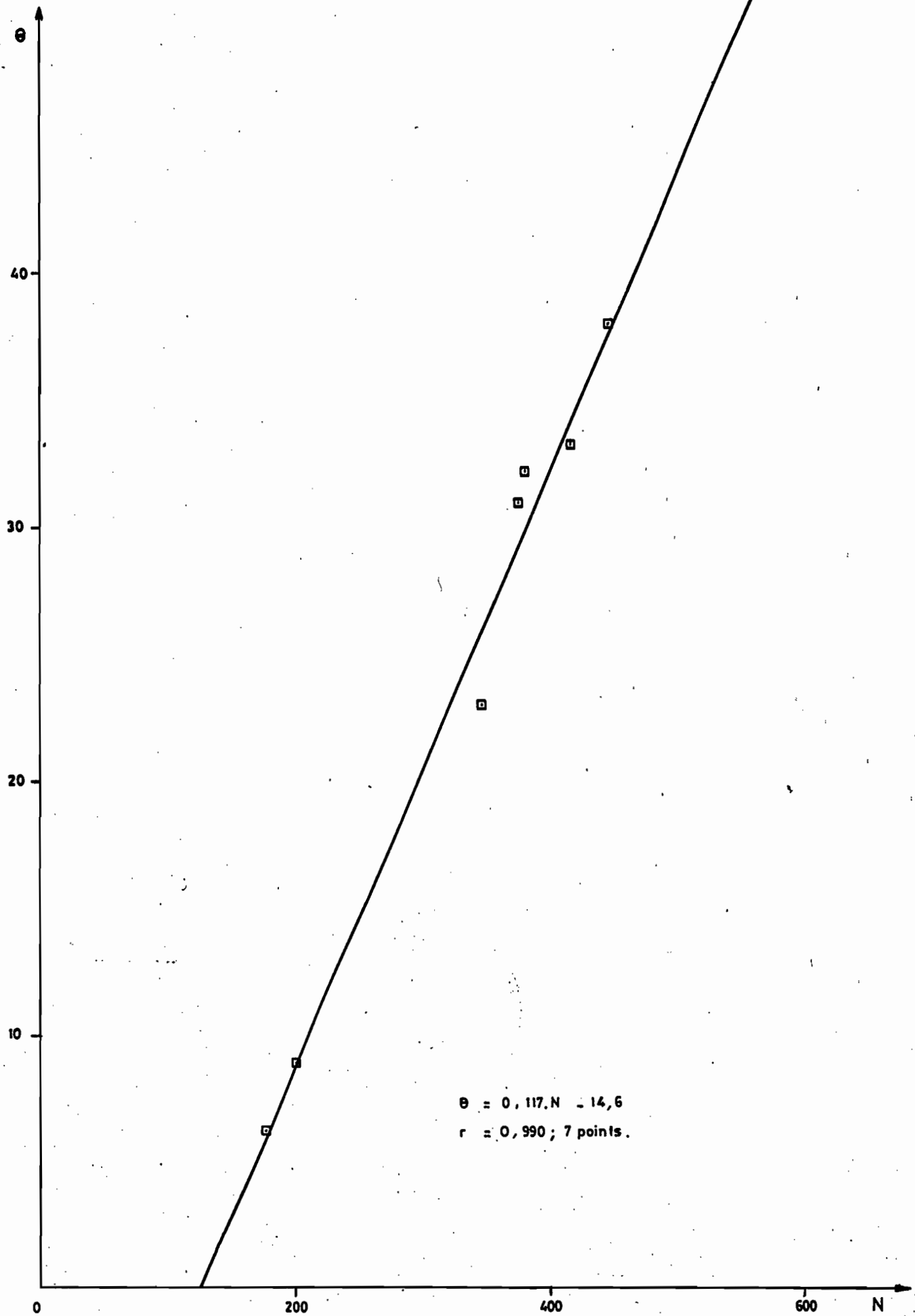
ST 2 : 20 _ 60 cm



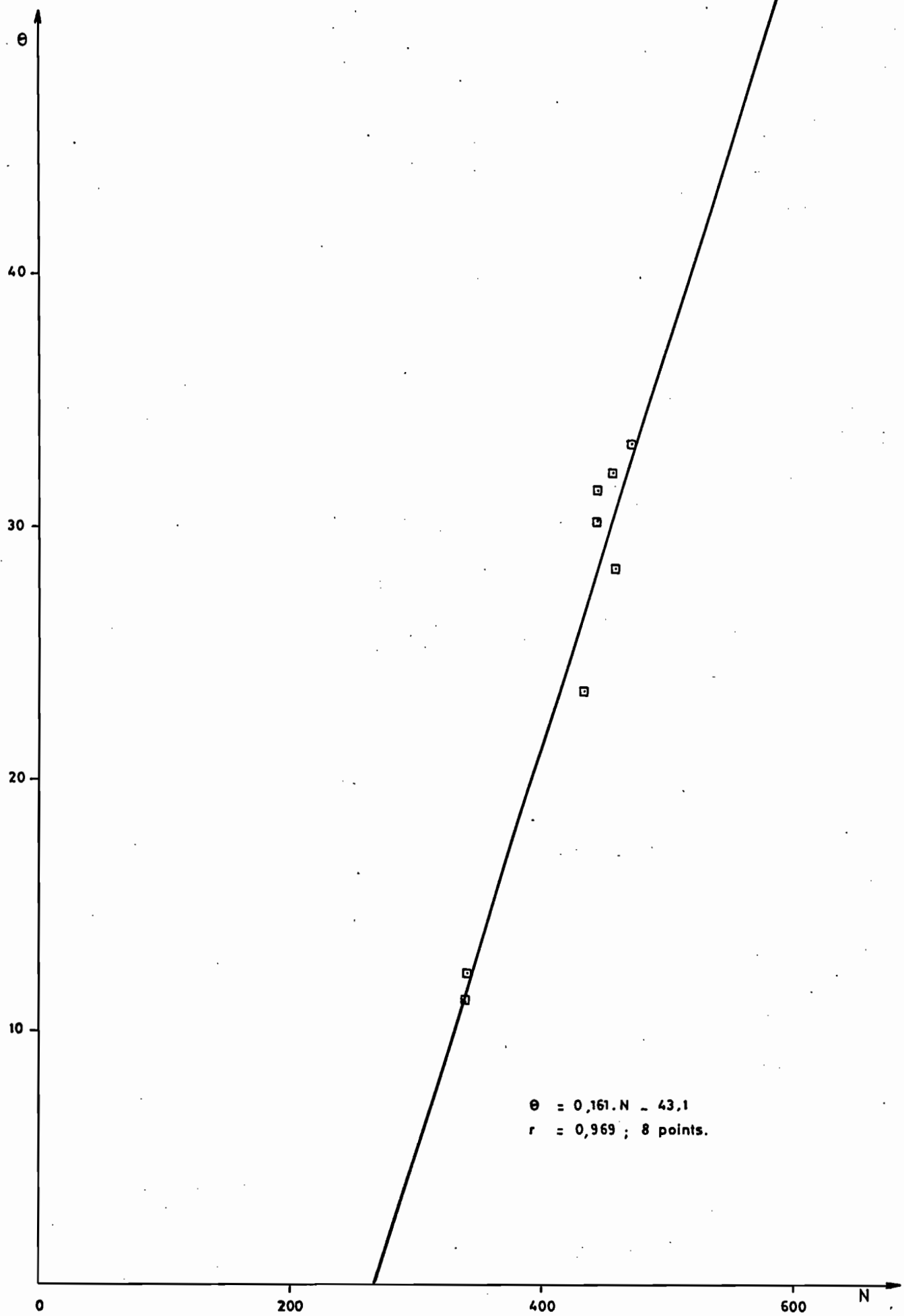
ST 2 : 60-100 cm



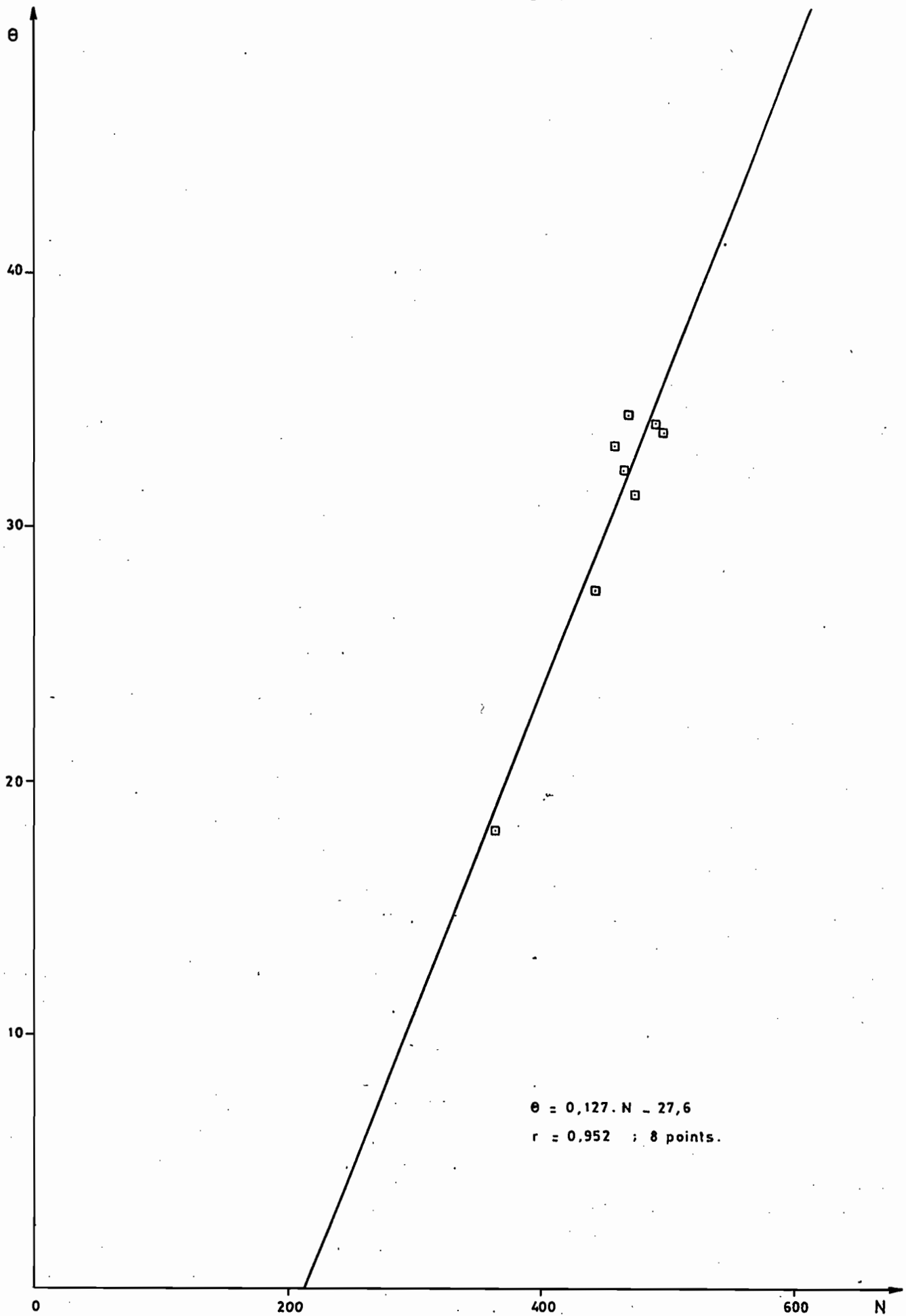
ST 3 : 0 - 20 cm



ST 3 : 20 - 60 cm



ST 3: 60 - 100 cm



SITE D'EL HABIBIA

PLAN TOPOGRAPHIQUE



Echelle
0 5 10 m

Legende

- ST Station d'étude
- — — Emplacement estimé du réseau de drainage
- Côte de référence 0
- Point coté en cm
- 50 Courbe de niveau 50 cm

